

صلى الله عليه وسلم



دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی

طراحی بهینه سیستم کنترل سیل سد کبودوال با استفاده از الگوریتم ژنتیک

نگارنده: سجاد قوش کرپی

استاد راهنما

دکتر زهرا گنجی نوروزی

استاد مشاور

دکتر صمد امامقلی زاده

بهمن ۱۳۹۵

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : کشاورزی

گروه : آب و خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای / خانم سجاد قوش کرپی

تحت عنوان: طراحی بهینه سیستم کنترل سیل سد کبودوال با استفاده از الگوریتم ژنتیک

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

مورد ارزیابی و

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	صمد امامقلی زاده		زهرا گنجی نوری

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم بہ

مقدترین سوزہ مادر لغت نامہ دلم ، مادری کہ تار مویر از او پیاپی منسپاہ نمادہ

و زندکیم را مدیون مہر و عطوفت آن مردانم .

و

پدر، مہربانتر مشفق، بردبار و حامی

شکر و قدردانی

باتشکر از روحانی ما و دلسوز ما سرپرستاد گرامی، سرکار خانم دکتر زهره کنجی نوروز سرو هم چنینم قدردانی از استاد

گرامی و لاجمده، جناب آقای دکتر صدیقا مقلی زاده. و باتشکر و قدردانی از بهکار ما و مساعدت ما سر جناب آقای

مهندس یاقتی، کارمند بخش منابع آب لایه آب مرکز و نسیم گلشنه.

سجاد قوش کرپی

زنسمه ۹۵

تعهد نامه

اینجانب سجاد قوش کربی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی دانشکده مهندسی کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه طراحی بهینه سیستم کنترل سیل سد کبودوال با استفاده از الگوریتم ژنتیک تحت راهنمایی دکتر زهرا گنجی‌نوروزی و مشاوره‌ی دکتر امامقلی‌زاده متعهد می‌شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوضه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل، به عنوان دو جزء لاینفک در مطالعات طرح‌های کنترل سیل مطرح هستند. با توجه به هزینه‌های هنگفت طرح‌های کنترل سیلاب، طراحی بهینه سیستم‌های کنترل سیلاب موضوع بسیار مهمی در مسائل مهندسی آب می‌باشد. هدف اصلی این تحقیق تدوین یک مدل تلفیقی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی برای طراحی بهینه سیستم‌های ترکیبی کنترل سیلاب می‌باشد، به طوری که علاوه بر کنترل سیلاب، سیستم مورد نظر بتواند نیازهای آبی پایین‌دست را تأمین کند.

در این راستا، در این تحقیق به بررسی بهینه‌سازی سیستم سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل پرداخته شده است. در روش سازه‌ای کنترل سیل، پارامترهایی همچون ارتفاع سد، ابعاد کانال و همچنین شیب کانال، حجم خاکبرداری و خاکریزی از جمله متغیرهای تصمیم هستند. نتایج نشان‌دهنده کارایی خوب مدل، جهت بهینه‌یابی ابعاد این سیستم می‌باشد. همچنین در بحث کنترل غیرسازه‌ای سیل (بهره‌برداری بهینه از مخزن سد)، نیز کارایی الگوریتم ژنتیک بررسی گردید. برای مقایسه کارایی الگوریتم ژنتیک در مبحث بهره‌برداری بهینه، از روش بهره‌برداری استاندارد استفاده گردید. نتایج نشان داد که برای یک تابع هدف یکسان، الگوریتم ژنتیک با دارا بودن مقدار تابع هدف کمتر ($0/0000045$) نسبت به مقدار تابع هدف روش بهره‌برداری استاندارد ($0/0037$)، کارایی بهتری از خود نشان داد. همچنین در بحث بهینه‌یابی ابعاد، در بخش سازه‌ای کنترل سیل، نتایج نشان‌دهنده کاهش هزینه‌های ساخت به میزان ۶ درصد (حدود ۴ میلیارد تومان) با استفاده از روش بهینه‌یابی شده نسبت به طراحی به روش معمول می‌باشد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، سیستم کنترل سیل، بهره‌برداری بهینه.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- ضرورت و اهمیت موضوع	۳
۱-۳- اهداف تحقیق	۵
۱-۴- فرضیات تحقیق	۵
۱-۵- روش انجام تحقیق	۷
۱-۶- روند تدوین پایان نامه	۸
فصل دوم کلیات و بررسی منابع پیشین	۹
۲-۱- مقدمه	۱۰
۲-۲- سیل و انواع آن	۱۰
۲-۳- روش‌های کنترل و مدیریت سیل	۱۱
۲-۳-۱- روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیلاب	۱۱
۲-۴- ضرورت و سابقه انجام تحقیق	۱۳
فصل سوم مواد و روش‌ها	۲۵
۳-۱- مقدمه	۲۶
۳-۲- منطقه مطالعاتی	۲۶
۳-۳- معرفی سیستم کنترل سیل	۲۸
۳-۳-۱- انتخاب متغیرهای تصمیم برای روش سازه‌ای کنترل سیل	۲۹
۳-۳-۲- انتخاب متغیرهای تصمیم برای روش غیر سازه‌ای کنترل سیل (مدیریت بهره‌برداری)	۳۰
۳-۴- مشخصات فیزیکی مخزن	۳۱
۳-۴-۱- حجم مخزن در تراز عادی	۳۲
۳-۴-۲- حداکثر حجم مخزن	۳۲
۳-۴-۳- حداکثر تراز بهره‌برداری	۳۳
۳-۴-۴- حداقل تراز بهره‌برداری	۳۳
۳-۴-۵- حجم مرده مخزن	۳۳
۳-۴-۶- سرریز اضطراری	۳۳
۳-۴-۷- ارتفاع آزاد	۳۴
۳-۵- تخصیص ظرفیت مخزن به احجام مختلف	۳۴
۳-۵-۱- حجم زنده	۳۵
۳-۵-۲- حجم مرده	۳۵
۳-۵-۳- حجم ذخیره کنترل سیل	۳۵
۳-۶- داده‌های مورد نیاز در مطالعات طراحی مخزن	۴۰

۴۰	۳-۶-۱- نقشه‌های توپوگرافی
۴۱	۳-۶-۲- داده‌های هیدرولوژیکی
۴۱	۳-۶-۳- داده‌های هواشناسی
۴۲	۳-۶-۴- نیازهای آبی
۴۴	۳-۷- محاسبات بهره‌برداری از مخزن
۴۴	۳-۸- روش‌های محاسبات بهره‌برداری متداول
۴۵	۳-۸-۱- روش مهندسی سیستم‌ها
۴۵	۳-۸-۲- روش شبیه‌سازی
۴۷	۳-۹- نتایج مطالعات بهره‌برداری مخزن
۴۷	۳-۱۰- منحنی‌های فرمان
۴۷	۳-۱۰-۱- اصول تهیه منحنی فرمان برای مخازن چند منظوره
۴۹	۳-۱۱- الگوریتم ژنتیک
۵۲	۳-۱۱-۱- عملگرهای الگوریتم ژنتیک
۵۳	۳-۱۱-۲- ارائه ساختار مناسب برای هر فرد
۵۳	۳-۱۱-۳- انتخاب متغیرهای تصمیم
۵۴	۳-۱۱-۴- تابع شایستگی یا تابع ارزیابی
۵۴	۳-۱۱-۵- جمعیت آغازین
۵۵	۳-۱۱-۶- انتخاب
۵۸	۳-۱۱-۷- تزویج یا ترکیب
۶۱	۳-۱۱-۸- جهش
۶۴	۳-۱۱-۹- جایگزینی مجدد
۶۵	۳-۱۱-۱۰- معیارهای توقف الگوریتم ژنتیک
۶۶	۳-۱۲- نحوه تعریف تابع شایستگی برای روش سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل
۶۶	۳-۱-۱- تابع شایستگی برای روش سازه‌ای کنترل سیل
۸۴	۳-۱۲-۲- تابع شایستگی برای روش غیرسازه‌ای کنترل سیل
۸۸	۳-۱۳- حل مسائل بهینه‌سازی دارای محدودیت با استفاده از الگوریتم ژنتیک
۹۰	۳-۱۳-۱- نحوه اعمال قیدهای مربوط به روش سازه‌ای
۹۳	۳-۱۳-۲- نحوه اعمال قیدهای مربوط به بهینه‌یابی روش غیرسازه‌ای
۹۴	۳-۱۴- الگوریتم اجرای کل برنامه
۹۴	۳-۱۴-۱- الگوریتم یا روال کلی اجرای برنامه الگوریتم ژنتیک
۹۵	۳-۱۴-۲- الگوریتم نحوه محاسبه هزینه هر کروموزوم (بردار پاسخ برای متغیرها) در روش سازه‌ای
۹۶	۳-۱۴-۳- الگوریتم نحوه محاسبه هزینه هر کروموزوم (بردار پاسخ برای متغیرها) در روش غیرسازه‌ای
۹۷	فصل ۴ نتایج و بحث
۹۸	۴-۱- مقدمه
۹۸	۴-۲- تعیین ظرفیت بهینه مخزن سد با استفاده از الگوریتم ژنتیک
	۴-۲-۱- نتیجه اجرای روش الگوریتم ژنتیک برای تعیین خروجی‌های ماهانه سد کیودوال یا تأمین نیاز پایین‌دست
۱۰۰	(بدون در نظر گرفتن حجمی برای کنترل و ذخیره سیل)

۴-۲-۲- تعیین خروجی‌های سد کبودال به روش بهره‌برداری استاندارد.....	۱۰۴
۴-۲-۳- مقایسه دو روش بهره‌برداری استاندارد و الگوریتم ژنتیک با استفاده از قابلیت اعتماد پذیری.....	۱۰۸
۴-۲-۴- نتایج بهینه‌یابی سیستم غیرسازه‌ای کنترل سیل سد کبودال با استفاده از الگوریتم ژنتیک (با در نظر گرفتن تخصیص فصلی برای ذخیره سیل).....	۱۰۹
۴-۳- بهینه‌سازی سد مخزنی کبودال به روش سازه‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک.....	۱۱۱
۴-۴- هزینه سیستم‌های مورد بررسی سد کبودال.....	۱۱۶
۴-۵- مقایسه روش ارائه شده به وسیله مدل الگوریتم ژنتیک با هزینه سیستم مورد مطالعه سد مخزنی کبودال.....	۱۱۸
۴-۶- بررسی درصد تأمین نیاز سیستم بهینه‌شده به وسیله الگوریتم ژنتیک.....	۱۱۸
۴-۷- بهینه‌سازی و شبیه‌سازی سد مخزنی کبودال، با استفاده از ترکیب روش سازه‌ای و غیرسازه‌ای توسط الگوریتم ژنتیک.....	۱۲۰
فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....	۱۲۷
۵-۱- نتیجه‌گیری.....	۱۲۸
۵-۲- پیشنهادات.....	۱۲۹
منابع.....	۱۳۰

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
فصل اول.....	۱
شکل (۱-۱) الگوریتم کلی بهینه‌سازی سیستم کنترل سیل	۷
فصل دوم.....	۹
فصل سوم.....	۲۵
شکل (۱-۳) نقشه گوگل ارثی محدوده سد کبودوال	۲۷
شکل (۲-۳) تخصیص ظرفیت مخزن به احجام مختلف	۳۲
شکل (۳-۳) نمایش بخش‌های مختلف ذخیره مخازن چندمنظوره	۴۹
شکل (۴-۳) نمایش نحوه اعمال ترکیب یک نقطه	۵۹
شکل (۵-۳) نمایش نحوه‌ی اعمال جهش بر روی یک کروموزوم	۶۳
شکل (۶-۳) پارامترهای در نظر گرفته شده برای محاسبه سطح و حجم خاکریزی سد، راست مقطع عرضی سد و	
چپ پروفیل طولی محور سد	۶۷
شکل (۷-۳) هیدروگراف حداکثر سیل ورودی به رودخانه کبودوال	۷۰
شکل (۸-۳) منحنی تغییرات حجم مخزن بر حسب تراز آب در ساختگاه سد کبودوال	۷۲
شکل (۹-۳) نمایش ضخامت کانال دوزنقه‌ای	۷۵
شکل (۱۰-۳) راهنمای تعیین عمق آزاد در کانال‌های خاکی و پوشش شده	۷۶
شکل (۱۱-۳) حالات مختلف خط کانال نسبت به خط زمین	۷۸
شکل (۱۲-۳) حالات مختلف خاکبرداری و خاکریزی	۷۹
شکل (۱۳-۳) راست: دو نیمرخ خاکبرداری کامل، چپ: دو نیمرخ خاکریزی کامل	۸۱
شکل (۱۴-۳) حالت دو مقطع خاکبرداری و خاکریزی	۸۲
شکل (۱۵-۳) نمایش نحوه تقسیم فاصله‌ی طولانی مسیر کانل به طول‌های کمتر	۸۳
شکل (۱۶-۳) ظرفیت تخلیه یک شیر در رقوم‌های مختلف بهره‌برداری از مخزن سد کبودوال	۸۷
شکل (۱۷-۳) ظرفیت تخلیه دو شیر در رقوم‌های مختلف بهره‌برداری از مخزن سد کبودوال	۸۷
فصل چهارم.....	۹۷
شکل (۱-۴) فلوجارت بهینه‌سازی روش غیرسازه‌ای سیستم کنترل سیل	۱۰۰
شکل (۲-۴) نمایش خروجی‌های مدل الگوریتم ژنتیک (خروجی، نیاز، سرریز).....	۱۰۵
شکل (۳-۴) نحوه تخصیص خروجی برای نیاز ماه‌های مختلف، در روش بهره‌برداری استاندارد	۱۰۸

شکل (۴-۴) نمایش خروجی‌های مدل بهره‌برداری استاندارد (خروجی، نیاز، سرریز) برای مدلی که حجمی برای کنترل سیل در نظر نگرفته شده است	۱۰۹
شکل (۵-۴) نمایش خروجی‌های مدل الگوریتم ژنتیک (خروجی، نیاز، سرریز)	۱۱۳
شکل (۶-۴) فلوچارت بهینه‌سازی روش سازه‌ای سیستم کنترل سیل سد کبودوال	۱۱۶
شکل (۷-۴) تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات تراز سرریز در روش بهره‌برداری استاندارد	۱۲۳
شکل (۸-۴) فلوچارت بهینه‌یابی ادغام دو روش سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل سد مخزنی کبودوال	۱۲۵
فصل پنجم	۱۲۸

فهرست جداول

عنوان	صفحه
فصل اول.....	۱
فصل دوم.....	۹
جدول (۱-۲) برخی از روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل.....	۱۲
جدول (۲-۲) تحقیقات انجام شده در زمینه طراحی و ساخت سازه‌های هیدرولیکی و کنترل سیل به روش‌های سازه‌ای.....	۱۶
جدول (۳-۲) تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی روش‌های غیرسازه‌ای کنترل سیل و مدیریت و بهره‌برداری مخزن.....	۲۰
فصل سوم.....	۲۵
جدول (۱-۳) مشخصات سد کبودوال.....	۲۷
جدول (۲-۳) مقادیر حقابه‌های طرح سد مخزنی کبودوال.....	۳۱
جدول (۳-۳) فهرست واژه‌های معمول در الگوریتم ژنتیک.....	۵۲
جدول (۴-۳) نحوه اعمال تلفیق یکنواخت بر روی والدین برای تولید فرزند.....	۵۹
جدول (۵-۳) نحوه اعمال ترکیب حقیقی بر روی والدین برای تولید فرزند.....	۶۱
جدول (۶-۳) شیب‌های کناری توصیه شده توسط ترزاقی برای سد خاکی.....	۶۸
جدول (۷-۳) مشخصات موج و ارتفاع آن در شرایط مختلف برای سد کبودوال.....	۷۲
جدول (۸-۳) مشخصات هندسی بهترین مقطع هیدرولیکی کانال دوزنقه‌ای.....	۷۴
جدول (۹-۳) مقادیر ضخامت پوشش سخت در کانالها بر حسب سانتی متر.....	۷۵
جدول (۱۰-۳) شیب استاندارد شیروانی‌های خاکبرداری.....	۷۹
جدول (۱۱-۳) مقادیر عرض بالای خاکریز بر حسب بده کانال.....	۸۰
فصل چهارم.....	۹۸
جدول (۱-۴) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده (بدون در نظر گرفتن حجمی برای کنترل و ذخیره سیل).....	۱۰۰
جدول (۲-۴) نتایج تغییر تعداد جمعیت و تغییر تکرار بر مقدار تابع هدف و تأمین نیاز.....	۱۰۰
جدول (۳-۴) نتایج بهره‌برداری به روش استاندارد برای ۶۰ ماه.....	۱۰۷
جدول (۴-۴) نتایج روش بهره‌برداری استاندارد و الگوریتم ژنتیک در مبحث بهره‌برداری بهینه از سد کبودوال (بدون در نظر گرفتن تخصیص فصلی برای ذخیره سیل).....	۱۰۸
جدول (۵-۴) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در این روش.....	۱۱۰
جدول (۶-۴) نتایج اجرای الگوریتم ژنتیک (با در نظر گرفتن تخصیص فصلی برای ذخیره سیل).....	۱۱۰
جدول (۷-۴) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده (برای روش سازه‌ای کنترل سیل).....	۱۱۵
جدول (۸-۴) نتایج بهینه‌یابی سیستم سازه‌ای کنترل سیل سد کبودوال با استفاده از الگوریتم ژنتیک با جمعیت‌های مختلف.....	۱۱۵
جدول (۹-۴) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده برای بررسی هزینه سد کبودوال.....	۱۱۷
جدول (۱۰-۴) هزینه سیستم مورد بررسی سد مخزنی کبودوال.....	۱۱۷
جدول (۱۱-۴) مقدار تابع هدف برای دو روش الگوریتم ژنتیک و روش معمول.....	۱۱۸

جدول (۴-۱۲) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده برای بهینه‌یابی تأمین نیاز سد بهینه‌شده.....	۱۱۹
جدول (۴-۱۳) نتیجه الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌یابی تأمین نیاز سد بهینه‌شده.....	۱۱۹
جدول (۴-۱۴) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده.....	۱۲۴
جدول (۴-۱۵) نتایج بهینه‌یابی-شبیه‌سازی سیستم کنترل سیل سد کیودوال با استفاده از الگوریتم ژنتیک (با در نظر گرفتن تخصیص فصلی برای ذخیره سیل).....	۱۲۴
جدول (۴-۱۶) هزینه و تأمین نیاز برای روش‌های مختلف طراحی (با در نظر گرفتن حجم کنترل سیل برای ذخیره سیل).....	۱۲۵

فصل اول

مقدمه

شهرسازی واقعیتی است که در حال تغییر و تحول، جهانی که در آن زندگی می‌کنیم، می‌باشد. از دید منابع آب، شهرسازی باعث ایجاد تغییرات در سیکل هیدرولوژی^۱ شده است. که شامل، تغییرات در تشعشع، بارش، تبخیر، نفوذ، افزایش رواناب و ... می‌باشد (میز^۲، ۲۰۰۵). این تغییرات موجب افزایش رخدادهای پدیده‌های حدی طبیعی می‌شود. در بین بلایای طبیعی، سیل^۳ هر ساله موجب خسارات زیادی به مزارع، زمین‌های کشاورزی، راه‌ها، سدها، پل‌ها و جاده‌ها شده و در برخی موارد باعث مرگ بسیاری از انسانها و دام‌ها می‌شود. در واقع در پنج دهه اخیر، سیلاب بیش از نیمی از کل خسارات ناشی از بلایای طبیعی در دنیا را، به خود اختصاص داده است. مطابق آمار تهیه شده توسط سازمان ملل متحد در میان بلایای طبیعی، سیل و طوفان بیشترین تلفات و خسارات را به جوامع بشری وارد کرده اند، به گونه‌ای که تنها در یک دهه میزان خسارات ناشی از سیل و طوفان بالغ بر ۲۱ میلیارد دلار در مقابل ۱۸ میلیارد دلار خسارات ناشی از زلزله بوده است. این امر در کشور ما نیز صادق است. طبق آمار ارائه شده توسط بانک اطلاعاتی بلایای طبیعی، از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۵، ۶۴ بلای طبیعی ناشی از سیلاب در ایران رخ داده که این وقایع بیش از ۳/۵ میلیون نفر را تحت تاثیر قرار داده و ۷۲۶۲ نفر کشته و بیش از ۳۷۰۰ میلیون دلار (بیش از ۳۳۰۰۰ میلیارد ریال) خسارت بر جای گذاشته است (یزدی و همکاران، ۱۳۹۲). هم‌چنین در کشور ما در دهه‌های اخیر، شدت وقوع سیلاب‌ها و میزان خسارات ناشی از آن بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است (نشریه شماره ۲۴۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۰).

در این راستا استفاده و ذخیره سیلاب‌های بوقوع پیوسته در فصل تر، جهت تأمین نیاز آبی در دوره خشک از یک طرف و کاهش خسارات ناشی از وقوع سیلاب‌های ناگهانی و بزرگ از طرف دیگر، یکی از اهداف مهم احداث اکثر سدهای مخزنی کشور است. امروزه روش‌های سازه‌ای^۴ و غیرسازه‌ای^۵ کنترل

^۱ Hydrology

^۲ Mays

^۳ Flood

^۴ Structural

^۵ non-Structural

سیل، به عنوان دو جزء لاینفک در مطالعات طرح‌های کنترل سیل رودخانه مطرح هستند. روش‌های سازه‌ای کنترل سیل که عمدتاً در جهت کاهش شدت سیلاب یا میزان خسارت با اجرای طرح‌های عمرانی یا به عبارتی دور کردن سیلاب از مردم و روش‌های غیرسازه‌ای در جهت انطباق با شرایط وقوع سیلاب، مدیریت کاهش خسارات و به عبارتی دور کردن مردم از سیلاب عمل می‌کنند. روش‌های نوع اول از دیربها در مناطق مختلف سیل خیز کشور مورد توجه قرار گرفته‌اند و روش‌های نوع دوم به عنوان روش‌های نوین کاهش خسارات سیل در برخی از حوضه‌های آبریز^۶ کشور جزو اهداف توسعه پایدار^۷ این حوضه گنجانده شده است (حیدری و همکاران، ۱۳۸۵).

معمولاً هرچه به میزان ایمنی سازه‌های کنترل سیل افزوده شود متقابلاً هزینه‌های ایمن‌سازی نیز افزایش می‌یابند. در شرایط عدم محدودیت امکانات مالی، تأمین حداکثر ایمنی ممکن قابل تحسین است، اما واقعیت آن است که امکانات و سرمایه‌های ملی محدود است و باید به طور عادلانه بین متقاضیان تقسیم شود. بنابراین هر متقاضی باید بکوشد تا از سرمایه‌های ملی به بهترین و اقتصادی‌ترین نحو استفاده نماید. از مهمترین عوامل تعیین کننده در طراحی سیستم‌ها و سازه‌های عمرانی، عوامل هزینه و ایمنی سازه‌ها می‌باشد. جهت این امر، تعیین ابعاد بهینه این سازه‌ها برای کاهش هزینه‌ها به نحوی که ایمنی آنها در حد مطلوب باقی بماند و کلیه پارامترها و محدودیت‌های طراحی را برآورده سازد، مورد نیاز است (معراجی و افشار، ۱۳۸۷).

۱-۲- ضرورت و اهمیت موضوع

جهت کاهش اثرات و خسارات ناشی از حوادث طبیعی که بخش عمده آن ناشی از سیلاب‌ها است، می‌توان از تمهیدات سازه‌ای و غیر سازه‌ای (مدیریتی) بهره برد (نشریه شماره ۲۴۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۰). برخی از اقدامات سازه‌ای که در فرآیند کنترل سیلاب ممکن است انجام شود عبارتند از احداث سد،

^۶ Watershed or Drainage Basin or Catchment

^۷ Sustainable Development

کانال، خاکریز و غیره. همانطور که گفته شد، در شرایط عدم محدودیت امکانات مالی، تأمین حداکثر ایمنی قابل تحسین است، اما با توجه به محدودیت‌های موجود باید یک ارتباط منطقی بین ابعاد این سازه‌ها جهت کاهش هزینه ساخت و تضمین ایمنی آنها وجود داشته باشد (معراجی و افشار، ۱۳۸۷). احداث سازه‌های بزرگی همچون سدها، نیاز به مطالعات و صرف اعتبارات قابل ملاحظه‌ای داشته، به همین علت طراحان سد همواره با موضوع طرح ابعاد بهینه‌ی سد و سازه‌های وابسته به آن، به گونه‌ای که علاوه بر رعایت مسائل هیدرولیکی از نظر اقتصادی هم مقرون به صرفه باشد روبرو می‌باشند (عصاره و زمردیان، ۱۳۸۹). به عنوان مثال در یک حوضه با هیدروگراف^۸ سیل طراحی مشخص، هر اندازه ارتفاع سد بیشتر باشد، حجم مخزن پشت سد افزایش یافته و میزان حداکثر سیلاب خروجی با ذخیره بخشی از آن کاهش می‌یابد، لذا کانال زمان بیشتری برای هدایت سیل ورودی به پایین‌دست در اختیار دارد و می‌تواند با ابعاد کوچکتر، سیلاب را از خود عبود دهد. بدیهی است که هزینه احداث سازه‌ها با ابعاد آنها متناسب و مرتبط است. بنابراین انجام بهینه‌یابی برای دستیابی به ابعاد و اندازه‌هایی که کمترین هزینه را صرف نماید، ضروری می‌باشد.

همه موارد گفته شده گواه بر آنست که برای مواجهه با سیل، باید برنامه‌ریزی‌های مناسب صورت پذیرد. به نظر می‌رسد تلفیق راهکارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل با رعایت جنبه‌های زیست‌محیطی، گزینه مناسبی باشد. که با توجه به هزینه‌های هنگفت طرح‌های کنترل سیلاب و عواقب سنگین شکست، طراحی بهینه سیستم‌های کنترل سیلاب از اهمیت بسزایی در پیشگیری و کاهش خسارت سیلاب برخوردار است. هدف اصلی این تحقیق تدوین یک مدل تلفیقی شبیه‌سازی و بهینه سازی^۹ برای طراحی بهینه سیستم‌های ترکیبی کنترل سیلاب می‌باشد، به طوری که علاوه بر کنترل سیلاب، سیستم توانایی تأمین نیازهای از پیش تعیین شده را نیز داشته باشد.

^۸ هیدروگراف: نموداری است که تغییرات دبی رواناب را نسبت به زمان نشان می‌دهد (علیزاده، ۱۳۹۱)

^۹ دستیابی به بهترین نتیجه در شرایط داده شده را بهینه‌سازی گویند (شهیدی‌پور، ۱۳۸۴)

۱-۳-اهداف تحقیق

این تحقیق با اهداف زیر شکل گرفت:

- بررسی کارایی الگوریتم ژنتیک^{۱۰} در بهینه‌سازی سیستم کنترل سیل سد مخزنی و کانال‌های انتقال آب.
- به دست آوردن میزان بهینه ارتفاع سد با در نظر گرفتن ملاحظات طراحی (از قبیل قید حداقل و حداکثر ارتفاع مجاز سد).
- به دست آوردن ابعاد بهینه کانال پایین‌دست با توجه به قیدهای موجود (قید حداقل سرعت مجاز و همچنین قید حداکثر سرعت مجاز، قید عدم وجود شیب منفی، قیدهای حداقل و حداکثر دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی و قید حداکثر سرعت مجاز در تخلیه‌کننده تحتانی و حداکثر دبی مجاز رودخانه پایین‌دست).
- به دست آوردن احجام بهینه خاکبرداری و خاکریزی.
- بررسی کارایی الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی تأمین نیاز آب پایین‌دست سد.
- تدوین سیاست بهره‌برداری بهینه و ایجاد طرحی برای نحوه کنترل روی خروجی‌های سد به منظور استفاده هرچه بهتر از منابع آب.

۱-۴-فرضیات تحقیق

در صورت در نظر گرفتن تمامی ملاحظات و مبانی طراحی، حجم کار بسیار زیاد می‌شود. برای مثال برای به دست آوردن پایداری شیب‌های یک سد خاکی، در یکی از مراحل حین یا بلافاصله پس از مرحله‌ی ساخت یا در شرایط تخلیه سریع مخزن و یا در حین زلزله باید پایداری شیب‌های بالادست و پایین‌دست سد بررسی گردد، که این کار مستلزم اندازه‌گیری پارامترهای مقاومتی زهکشی‌شده در

¹⁰ Genetic Algorithm

آزمایشگاه و برآورد مقادیر فشار آب در شرایط صحرایی برای هریک از سه حالت فوق می‌باشد (رحیمی، ۱۳۸۲). اما در این پروژه که هدف، فقط تهیه یک مدل اولیه از بهینه سازی سد و حجم مخزن با تلفیق الگوریتم ژنتیک می‌باشد، شرایطی در نظر گرفته شده تا از حجم و وسعت کار کاسته شود. این فرضیات عبارتند از:

۱- حجم آب مورد نیاز برای ذخیره در مخزن و تأمین نیاز پایین دست برابر با رقوم نرمال سد می‌باشد.

۲- طرح استقرار شبکه، مشخص و همچنین اطلاعات هیدرولوژیکی حوضه نیز در اختیار می‌باشد.

۳- شبکه از یک سد مخزنی با دو لوله‌ی تحتانی برای تخلیه آب و یک سرریز اضطراری و کانال‌های انتقال آب تشکیل می‌شود.

۴- گره‌ها (رقوم کف کانال‌های انتقال آب) می‌توانند بالاتر و یا پایین تر از سطح زمین باشند و بنابراین در شبکه‌ی انتقال آب علاوه بر خاکبرداری، خاکریزی نیز وجود خواهد داشت.

۵- مقطع کانال‌ها دوزنقه می‌باشد و بر اساس روش بهترین مقطع هیدرولیکی طراحی می‌شوند.

۶- کانال‌ها روباز بوده و جریان به صورت ثقلی صورت می‌گیرد. بنابراین کانال‌ها باید فاقد شیب منفی باشند.

۷- فرض می‌شود که هزینه‌ی کل ساخت یک سد، متناسب با ارتفاع سد و حجم خاکریزی متناظر با آن می‌باشد.

۸- حجم خاکریزی به دست آمده برابر با حجم متراکم شده برای ساخت کانال می‌باشد.

۹- شیب افقی زمین در قسمت خاکبرداری و یا خاکریزی کانال و خاکریزی سد، صفر در نظر گرفته می‌شود.

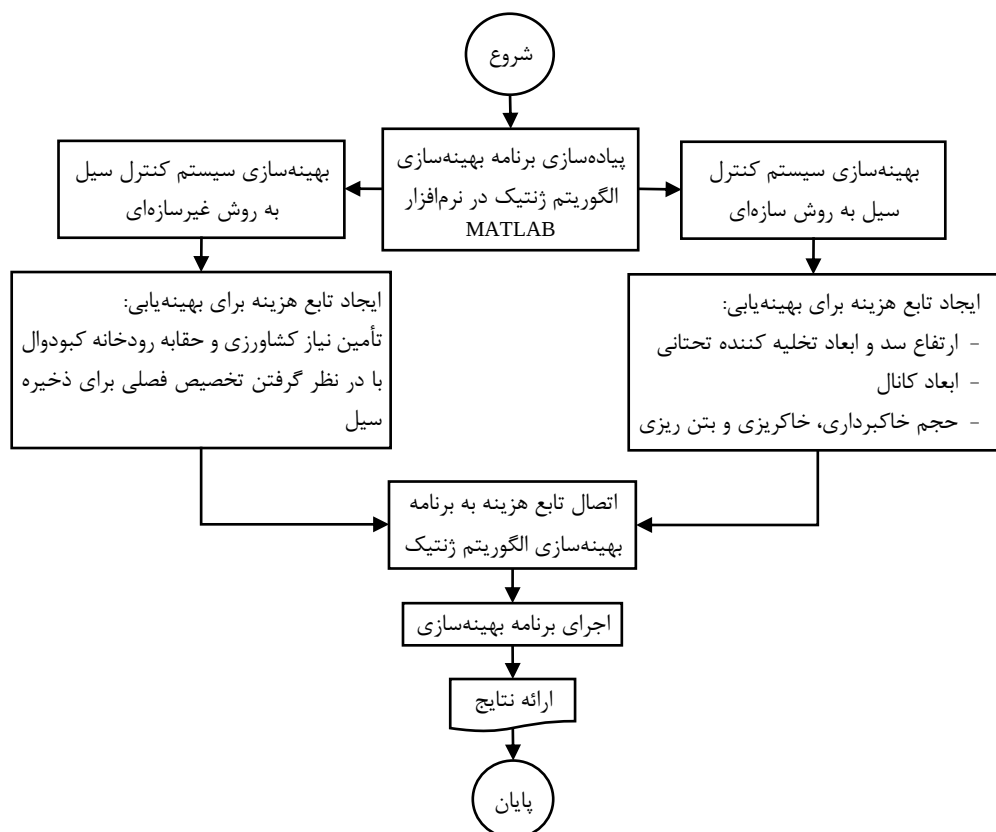
۱۰- عملیات بهینه‌یابی بین ارتفاع سد، رقوم گره‌ها (شیب کانال) و ابعاد کانال صورت می‌گیرد.

۱۱- برای سد مخزنی مورد بهینه‌سازی، یک سرریز از نوع اضطراری با ابعاد ثابت در نظر گرفته می‌شود، که به فاصله ۰/۱ متر بالاتر از تراز حداکثر حجم کنترل سیل (که با توجه به رقوم بهینه

تراز حداکثر حجم کنترل سیل تغییر می‌کند) قرار می‌گیرد و ابعاد این سرریز اضطراری، برابر با سرریز اجرا شده در سد مخزنی کبودال، می‌باشد.

۱-۵- روش انجام تحقیق

برای نیل به اهداف تحقیق، ابتدا برنامه‌ی بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، در نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شد و سپس طبق الگوریتم شکل (۱-۱)، که مراحل بهینه‌سازی سیستم کنترل سیل سد کبودال را نشان می‌دهد، تابع هزینه برای هر دو روش سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل ایجاد و به برنامه الگوریتم بهینه‌سازی اتصال داده شد و در انتها نتایج ارائه می‌شود.



شکل (۱-۱) الگوریتم کلی بهینه‌سازی سیستم کنترل سیل

۱-۶- روند تدوین پایان نامه

در فصل اول پایان نامه، مقدمه، ضرورت و اهمیت موضوع، اهداف و فرضیات ذکر شده است. در فصل دوم ابتدا کلیاتی درباره سیل و روش های کنترل آن و در انتها به مرور تحقیقات پیشین در زمینه مورد تحقیق اشاره شده است. در فصل سوم، مواد و روش انجام تحقیق، کلیاتی درباره سد، تئوری و مفهوم الگوریتم ژنتیک آورده شده، و در فصل چهارم نتایج و بحث مربوط به کارایی الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی در زمینه ساخت سد و تأمین نیاز آن ارائه گردیده است. در آخر، در فصل پنجم به نتیجه گیری و ارائه پیشنهاداتی در رابطه با موضوع تحقیق پرداخته شده است.

فصل دوم

کلیات و بررسی منابع پیشینه

۲-۱- مقدمه

اگر هیدرولوژی را بطور عام علم بررسی چرخه آب در طبیعت تعریف کنیم، هیدرولوژی سیلاب به آن بخش از این علم گفته می‌شود که عمدتاً پدیده سیلاب و به ویژه مقادیر آن را در زمان و مکان تعریف می‌کند. و هیدرولیک^{۱۱} سیلاب را می‌توان بررسی رفتار هیدرولیکی جریان آب در رودخانه‌ها، سیلاب دشت‌ها، سیلراه^{۱۲}‌ها، دریاچه‌های (طبیعی و مخازن سدها) و در مناطق ساحلی در شرایط سیلابی تعریف نمود (نشریه شماره ۲۴۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۰).

در ادامه، پس از بیان تعاریفی از سیل، روش‌های مختلف کنترل سیلاب، اعم از روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای تشریح شده است. و در انتها نیز به مروری بر مطالب انجام شده در این بخش‌ها، پرداخته می‌شود.

۲-۲- سیل و انواع آن

تعاریف متعددی برای سیلاب مطرح شده است. برای مثال، بعضی از متخصصین هرگونه جریان آبی را که به امکانات اقتصادی و مالی افراد لطمه وارد سازد و یا هر ارتفاعی از آب رودخانه که طغیان کند و اراضی اطراف رودخانه یا مسیل را فرا گیرد، سیلاب می‌دانند. با توجه به دیدگاه‌های مختلف بطور کلی می‌توان چنین استنباط کرد که سیل به جریانی گفته می‌شود که : ۱- جریان آب برای مقطع خاصی از رودخانه بیش از جریان عادی باشد، ۲- تداوم زمانی محدودی داشته باشد، ۳- جریان از بستر طبیعی خود خارج و اراضی پست حاشیه رودخانه را فرا گیرد و ۴- خسارت مالی و جانی داشته باشد (خلیلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹).

سیلاب‌هایی که در ایران اتفاق می‌افتد به طور کلی به سه نوع، سیلاب‌های ناشی از انواع باران‌ها، ترکیب ذوب برف و باران و در مواقعی تنها ذوب برف تعلق دارند. در نواحی گرم و خشک ایران از جمله

^{۱۱} Hydraulic

^{۱۲} سیلراه: قسمتی از رودخانه که هنگام وقوع سیلاب، جریان از آن عبور می‌نماید و بخشی از پهنه سیل گیر با دوره بازگشت صد سال که اشغال آن باعث افزایش تراز سیلاب بیش از ۳۳ سانتی‌متر می‌گردد را سیلراه می‌گویند (نشریه شماره ۳۰۷ وزارت نیرو، ۱۳۸۴).

مناطق جنوبی، شرقی، جنوب شرقی و مرکزی سیلاب‌های ناشی از باران به ویژه باران‌های شدید و کوتاه مدت، نوع غالب سیلاب‌ها را تشکیل می‌دهند. در مناطق معتدل و سرد کشور از جمله شمال و شمال غربی و بخش وسیعی از غرب، سیلاب‌های ناشی از باران یا ترکیب ذوب برف و باران وجه غالب سیلاب‌ها می‌باشند (نشریه شماره ۲۹۶-الف وزارت نیرو، ۱۳۸۵).

۲-۳- روش‌های کنترل و مدیریت سیل

طرح‌های کنترل سیلاب به طور کلی بسیار زیاد و متنوع هستند. کاربرد هر کدام بسته به شرایط محل، میزان ریسک در برابر خسارات وارده، میزان منافع حاصله از اجرای طرح و مسائل اجتماعی اقتصادی منطقه تفاوت دارد (مختاری، ۱۳۸۸). اقدامات جامع مدیریت مهار سیلاب و جلوگیری از زیان‌های سیل، شامل دو دسته اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای (مدیریتی) است (نشریه شماره ۵۲۷ وزارت نیرو، ۱۳۹۱). در ادامه این دو روش به اختصار شرح داده شده‌اند.

۲-۳-۱- روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیلاب

روش‌های سازه‌ای مهار سیلاب عموماً برای کاهش وقوع سیل یا جلوگیری از توسعه سیل‌زدگی انجام می‌گیرند (ضابطه شماره ۶۸۱ وزارت نیرو، ۱۳۹۴). روش‌های سازه‌ای کنترل سیلاب، شامل جمیع اقداماتی است که منجر به کاهش و تقلیل میزان و شدت جریان‌های سیلابی می‌شود و بدین طریق قدرت تخریبی سیل را کاهش می‌دهد. علاوه بر آن کلیه تاسیسات و سازه‌هایی که از ورود سیلاب‌ها به داخل محدوده مورد نظر جلوگیری می‌کنند و یا باعث تسهیل و تسریع دفع طغیان‌ها می‌گردند، نیز جزو اقدامات ساختمانی محسوب می‌شوند (مختاری، ۱۳۸۸).

اقدامات غیرسازه‌ای یا مدیریتی که در اصل فاقد فعالیت‌های ساختمانی بزرگ می‌باشد، به تبع آن نیز اثرات زیست محیطی کمتری دارند (نشریه شماره ۵۲۷ وزارت نیرو، ۱۳۹۱). روش‌های غیرسازه‌ای باید در یک دیدگاه سامانه‌ای با طراحی‌های سازه‌ای مورد توجه قرار گیرند. زیرا استفاده از آنها موجب

افزایش در اثربخشی روش‌های سازه‌ای می‌شود. در شرایط حاکم بر بعضی از حوضه‌های آبریز رودخانه‌ها، ممکن است روش‌های غیرسازه‌ای از روش‌های سازه‌ای مهار سیلاب کم هزینه‌تر باشند (ضابطه شماره ۶۸۱ وزارت نیرو، ۱۳۹۴). تجارب ناشی از احداث سازه‌هایی همچون سدها، خاکریزها، دیواره‌های کنترل سیلاب نشان می‌دهد که این سازه‌ها اگر چه نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش خسارات سیل دارند، اما علاوه بر اینکه ظرفیت طراحی این سازه‌ها باید زیاد باشد، ممکن است به دلایل محیطی، نامناسب بوده و عملیات ساخت و نگهداری آنها مشکل و بعضاً غیر ممکن باشد. در نتیجه در چنین مواردی روش‌های غیرسازه‌ای می‌تواند موثرتر واقع شود (آذری و همکاران، ۱۳۸۸). به برخی از روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل، در جدول (۱-۲) اشاره شده است.

جدول (۱-۲) برخی از روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل

روش‌های سازه‌ای کنترل سیل	روش‌های غیرسازه‌ای کنترل سیل
مهار سیلاب با استفاده از مخازن (نشریه شماره ۲۴۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۰)، (شمسائی، ۱۳۸۳)	مدیریت بهره‌برداری از سد (نشریه شماره ۵۲۷ وزارت نیرو، ۱۳۹۱)
آبخیزداری و احیاء مراتع (روغنی و همکاران، ۱۳۸۶)	مدیریت کاربری اراضی ^{۱۳} (نشریه شماره ۲۴۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۰)
تغذیه مصنوعی (صداقت، ۱۳۸۷) و (ولایتی، ۱۳۸۶)	بهبودی شرایط حوضه آبریز و ذخیره آب در محل ^{۱۴} (نشریه شماره ۲۴۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۰)
ضد سیلاب کردن ۱۵ ساختمان‌ها و تاسیسات (مختاری، ۱۳۸۸)	بیمه سیل (مختاری، ۱۳۸۸)، (نشریه شماره ۵۲۷ وزارت نیرو، ۱۳۹۱)
مهار آب با آب (سدهای لاستیکی) (خادمی و اکبری، ۱۳۹۳)	پیش‌بینی و هشدار سیل ^{۱۶} (نشریه شماره ۲۴۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۰)
محدودسازی سیلاب (نشریه شماره ۲۴۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۰)	اطلاع‌رسانی و آموزش مردم ^{۱۷} (نشریه شماره ۲۴۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۰)

^{۱۳} Land use management

^{۱۴} Modification of Catchment Conditions and On-site Storage

^{۱۵} Flood Proofing

^{۱۶} Public Information and Education

^{۱۷} Public Information and Education

ایمن سازی انفرادی ساختمان‌ها ^{۱۸} (نشریه شماره ۲۴۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۰)	انحراف سیلاب (نشریه شماره ۲۴۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۰)
تخلیه مناطق در خطر ^{۲۰} (نشریه شماره ۲۴۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۰)	بهسازی آبراه (رودخانه) ^{۱۹} (شمسائی، ابوالفضل، جلد ۴، ۱۳۸۳)

پس از بررسی روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای، در ادامه به مرور برخی از تحقیقات انجام شده در این زمینه پرداخته می‌شود.

۲-۴- ضرورت و سابقه انجام تحقیق

بدلیل اهمیت سیل در تمدن و اقتصاد اقوام مختلف، فعالیت‌های کنترل و کاهش خسارات سیل قدمتی دیرینه دارد. به همراه این فعالیت‌ها محققین نیز مطالعات و بررسی‌های بسیاری در این زمینه انجام داده‌اند.

آلابی^{۲۱} (۱۹۹۸) در کتاب FLOODS به بررسی چگونگی حرکت آب و هم‌چنین به بررسی اثرات سیل بر کشاورزی و اقتصاد، پرداخته است. و میز (۲۰۰۵) در بخشی از کتاب مهندسی منابع آب، به تعریف و بررسی عوامل بوجود آورنده سیلاب‌های شهری و هم‌چنین نحوه مدیریت آنها، پرداخته است. مختاری (۱۳۸۸)، به بررسی راهکارهای کنترل سیلاب، اعم از سازه‌ای و غیرسازه‌ای پرداخته است.

وزارت نیرو نیز در نشریه های شماره ۲۴۲ (۱۳۸۰)، شماره ۳۰۷ (۱۳۸۴)، شماره ۲۹۶-الف (۱۳۸۵) و شماره ۵۲۷ (۱۳۹۱)، ضابطه شماره ۶۸۱ (۱۳۹۴) و نشریه شماره ۲۷۲ (۱۳۸۳) به ترتیب به بررسی روش‌های سازه‌ای مهار سیلاب رودخانه، راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم

¹⁸ Flood Proofing of Buldinf s

¹⁹ Channel (River) Improvement

²⁰ Evacuation from Endangered Areas

²¹ Allaby

رودخانه، راهنمایی ارزیابی خسارت سیلاب، راهنمای پادسیل‌سازی و راهنمای طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سامانه‌های انحراف سیلاب و راهنمای مطالعات بهره‌برداری از مخازن سدها پرداخته است. والدز^{۲۲} و مارکو^{۲۳} (۱۹۹۵)، روش‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت را در زمینه‌ی بهره‌برداری، کنترل و مدیریت سیل را بررسی، و پیشنهاداتی در این زمینه از جمله پیشنهاد بررسی ارتباط هیدرولوژی شهری با مخازن کنترل سیل، بررسی توسعه‌ی استراتژی‌های مدیریت مخزن و همچنین بررسی و تجزیه و تحلیل خطر سیل بر اثر تغییر ظرفیت مخزن در صورت تغییر شرایطی همچون بارندگی و غیره را برای کنترل سیل ارائه داده‌اند.

از جمله روش‌های جلوگیری و کاهش خسارت سیل، می‌توان به مخازن کنترل سیل، اشاره نمود که عموماً برای پایین آوردن بده ماکزیمم سیل عبوری از روی سرریز احداث می‌شوند. که معمولاً پس از این سازه‌ها، دیواره‌ها یا خاکریزهای ساحلی برای حفاظت از رودخانه پایین‌دست نیز احداث می‌گردد. در این صورت چنانچه ابعاد بزرگتری برای تخلیه‌کننده در نظر گرفته شود، بده ماکزیمم عبوری افزایش می‌یابد. در نتیجه با افزایش بده عبوری هزینه مخزن و سد به علت کاهش ذخیره سیل کاهش پیدا می‌کند، در صورتی که هزینه ابعاد کانال‌های انتقال‌دهنده پایین‌دست و همچنین خاکریزهای ساحلی رودخانه افزایش می‌یابد و در نتیجه هزینه آن بیشتر خواهد شد. به هر حال ابعاد تخلیه‌کننده باید طوری انتخاب شود که مجموع هزینه‌های سد و سازه‌های وابسته به آن به حداقل برسد (سامانی، ۱۳۷۶). با توجه به وجود انتخاب‌های بسیار زیاد در این زمینه باید ساز و کاری انتخاب گردد که به این هدف دست یافت. یکی از روش‌هایی که به منظور انتخاب بهترین گزینه از بین سایر گزینه‌های طراحی می‌باشد، استفاده از یک روش بهینه‌سازی می‌باشد.

بهینه‌سازی روشی است که با توجه به هدف معین و محدودیت‌های مشخص که به صورت توابع و روابط ریاضی تعریف می‌گردد، بهترین جواب ممکن را برای یک مسئله مشخص می‌نماید. در این روش

²² Valdes

²³ Marco

با بهره‌گیری از مدل‌های مناسب می‌توان اقدام به محاسبه و برآورد پارامترهای طراحی از جمله ارتفاع سد نمود و همچنین عملکرد تقریبی مخزن را با توجه به ارتفاع نظیر سد مورد ارزیابی قرار داد. در مورد مخازن سدهایی که داری گزینه‌های پیشنهادی مختلفی هستند، می‌توان با استفاده از مدل‌های مناسب گزینه‌های نامطلوب را شناسایی و یا حذف نمود و با حذف آنها بهترین گزینه را انتخاب کرد (نشریه شماره ۲۷۲ وزارت نیرو. ۱۳۸۳).

از جمله روش‌های نوین بهینه‌سازی می‌توان به روش‌های محاسبات تکاملی اشاره نمود. عموماً اصطلاح محاسبات تکاملی یا الگوریتم‌های تکاملی در ارتباط با دامنه‌ی گسترده‌ای از روش‌های تکاملی مثل الگوریتم‌های ژنتیک (GA)، استراتژی‌های تکاملی، برنامه‌نویسی تکاملی و برنامه‌نویسی ژنتیک به کار می‌رود. این الگوریتم‌ها همگی در فرایندهای مرتبط به شبیه‌سازی روند تکامل از جمله انتخاب و تولید مثل مشترک می‌باشند. کارایی این فرایندها به کارایی ساختارهای افراد جمعیت که توسط محیط تعریف می‌شوند، بستگی دارند. در واقع الگوریتم‌های تکاملی یک ساختار جمعیتی ایجاد کرده و بر اساس قوانینی مثل انتخاب و ترکیب و جهش آنها را نمو می‌دهند. به هر فرد در جمعیت با توجه به محیط اطراف یک مقدار شایستگی نسبت داده می‌شود و عملیات انتخاب با توجه به میزان شایستگی افراد انجام می‌شود. اگر چه این روش از دیدگاه زیستی بسیار ساده به نظر می‌آید اما این الگوریتم یک مکانیسم جستجوی انطباقی بسیار قدرتمند و کارا می‌باشد (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

الگوریتم ژنتیک که یکی از روش‌های بهینه‌سازی است، اولین بار توسط جان هالند^{۲۴} در سال ۱۹۷۵ مطرح شد (زهراپی و حسینی. ۱۳۹۳) و سرآمد روش‌های تکاملی می‌باشد. در واقع هر برنامه‌ای که بر مبنای نظریه داروین باشد را می‌توان بر الگوریتم ژنتیک بنا نمود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). در زمینه آب، دپتی^{۲۵} و همکارانش (۲۰۱۳)، به بررسی کاربرد الگوریتم ژنتیک در منابع آب، و همچنین وارن^{۲۶} و همکارانش (۲۰۰۸) به بررسی پتانسیل کاربرد الگوریتم ژنتیک در صنعت آب پرداختند. این محققین

²⁴ John Holland

²⁵ Deepti Rani

²⁶ Vuuren

بیان نمودند که از جمله جنبه‌هایی که در طراحی آنها احتیاج به بهینه‌سازی می‌باشد می‌توان به، بهینه سازی اندازه مخزن و ظرفیت سیستم و همچنین هزینه اثر توسعه‌ی زیرساخت‌ها، با آگاهی داشتن از سطح و هزینه خدمات جایگزین اشاره نمود.

در مهندسی آب از الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی در مباحثی همچون بهینه‌سازی شبکه توزیع آب و بهینه‌سازی قوانین بهره‌برداری از مخزن سد و همچنین بهینه‌سازی ابعاد سازه‌ها استفاده شده است. در ادامه برخی از تحقیقات انجام شده در حیطه مهندسی آب، کنترل سیل و روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی به طور جداگانه در جدول‌های (۲-۲) و (۲-۳) شرح داده شده است.

جدول (۲-۱) تحقیقات انجام شده در زمینه طراحی و ساخت سازه‌های هیدرولیکی و کنترل سیل به روش‌های سازه‌ی

محقق(ها)	سال	عنوان تحقیق	روش بهینه‌سازی	نتیجه
Duren and Beard	۱۹۷۲	بهینه سازی تخصیص کنترل سیل برای یک مخزن چند منظوره	گرادیان تک متغیره	روش بهینه‌سازی به راحتی می‌تواند برای دیگر مخازن استفاده و شرایط اقتصادی طرح را تغییر دهد.
Furuta et al.	۱۹۹۵	طراحی زیبایی‌شناسی ساختارهای سد	الگوریتم ژنتیک	روش مذکور می‌تواند از نقطه نظر عملی به صورت گسترده استفاده شود
Chuntian	۱۹۹۹	مدل بهینه فازی برای سیستم های کنترل سیل رودخانه و مخزن	الگوریتم ژنتیک	نتایج نشان‌دهنده‌ی موثر و انعطاف پذیر بودن مدل مذکور می‌باشد
Needham et al.	۲۰۰۰	برنامه‌ریزی خطی برای کنترل سیل در رودخانه	برنامه‌ریزی خطی	تلفیق روش‌های شبیه سازی و بهینه‌سازی می‌تواند یک تخمین دقیق از عملکرد سیستم با توجه به مجموعه‌ای از سیاست‌ها داشته باشد
Hreinsson and Eliasson	۲۰۰۲	طراحی بهینه و تحلیل سود به هزینه‌ی سیستم برق‌آبی	الگوریتم ژنتیک	مدل ارائه شده، می‌تواند به عنوان عنصری کلیدی، برای اطمینان از عملکرد در طراحی و تحلیل سود به هزینه، باشد

این روش می تواند به صورت موفقیت آمیزی، در طراحی سازه عظیم بتنی، استفاده می شود	الگوریتم ژنتیک	بهینه سازی هزینه احداث سد بتنی	۲۰۰۳	Marcos et al.
اقتصادی بودن روش بهینه سازی نسبت به روش معمول طراحی چنین سیستم هایی	الگوریتم ژنتیک هیبریدی	یک الگوریتم ژنتیک هیبریدی برای طراحی شبکه های توزیع آب	۲۰۰۵	Keedwell and Soon-Thiam
GA در این زمینه دارای همگرایی بسیار سریع، و توانایی ارائه یک جواب امکان پذیر مطلوب را دارا می باشد	الگوریتم ژنتیک	طراحی بهینه سرریزها	۲۰۰۵	Bozorg Haddad and et al.
مدل بهینه سازی قادر به کاهش هزینه های ساخت حوضه آرامش می باشد	الگوریتم ازدحام ذرات	استفاده از بهینه سازی برای طراحی بهینه حوضچه آرامش	۲۰۰۹	Daraeikhah et al.
مدل پیشنهادی، خسارت و هزینه ها را بر اساس گزینه های مدیریت سیل (سازه ای و غیرسازه ای، موقتی و دائمی)، با در نظر گرفتن خطر احتمالی، کاهش می دهد	الگوریتم ژنتیک	مدیریت سیل با بهینه سازی احتمالاتی	۲۰۰۹	Karamouz et al.
نتایج نشان دهنده ی مزیت محاسباتی پیشنهادی برای طراحی بهینه سدهای قوسی می باشد	الگوریتم ازدحام ذرات	طراحی بهینه شکل سدهای قوسی	۲۰۱۰	Hamidian and Seyedpoor
استفاده از الگوریتم های تکاملی در طراحی هسته رسی سدهای خاکی منجر به کاهش هزینه سد می گردد	الگوریتم جهش قورباغه و روش شبیه سازی آنیلینگ و الگوریتم ژنتیک	بهینه سازی ابعاد هسته رسی سدهای خاکی با استفاده از الگوریتم های تکاملی	۲۰۱۳	Mohammadi et al.
مدل الگوریتم ژنتیک در این زمینه با جمعیت زیاد می تواند به راه حل بهینه دست یابد	الگوریتم ژنتیک	بهینه سازی الگوریتم ژنتیک برای مقطع سد سنگی تحت لرزش	۲۰۱۴	Ahmed et al.
روش بهینه سازی منجر به کاهش وزن سد می گردد	برنامه ریزی بیان ژنی	بهینه سازی شکل سدهای بتنی	۲۰۱۴	Baghlani
راه حل بهینه منجر به کاهش ۲۰,۴۴٪ مصرف بتن می شود	الگوریتم تکامل تفاضلی	طراحی بهینه سد بتنی	۲۰۱۵	Deepika and Suribabu
استفاده از روش بهینه سازی منجر به کاهش حجم عملیات خاکی می گردد	الگوریتم کلنی زنبور عسل	بهینه سازی مقطع خاکریز سدهای خاکی	۲۰۱۵	Barahmand and Dini

توصیه به استفاده از الگوریتم‌های تکاملی در حل این مسائل، (که در آن تابع هدف و محدودیت‌های غیر خطی هستند) به جای استفاده از روش‌های بهینه‌سازی معمولی	الگوریتم ازدحام ذرات	طراحی بهینه سد بتنی	۲۰۱۵	Golkar Hamzee Yazd et al.
نتایج نشان می‌دهد که شیب بهینه بالادست و پایین‌دست، علاوه بر فراهم کردن شرایط پایداری در برابر لغزش و واژگونی، موجب به حداقل رساندن وزن کل سد می‌شود	الگوریتم کلنی زنبور عسل	طراحی بهینه شکل یک سد خاکی	۲۰۱۵	Zarghani and Barahmand
روش ارائه شده فراهم می‌کند راه حل‌های قوی و مناسب برای تعیین متغیرهای طراحی	الگوریتم ژنتیک	طراحی بهینه و تحلیل سود به هزینه‌ی مخزن سدها	۲۰۱۶	Monadi et al.
کارایی مناسب الگوریتم ژنتیک در مسائل بهینه‌سازی حفاظت سیلاب	الگوریتم ژنتیک	طراحی بهینه میسر استقرار دیواره‌های حفاظت سیلاب در حاشیه رودخانه‌ها	۱۳۸۴	شفیعی و همکاران
تولید بیشتر میزان برق در روش بهینه‌سازی نسبت به روش شبیه‌سازی	برنامه‌ریزی پویا	بهینه‌سازی طراحی و بهره‌برداری از مخازن برق آبی	۱۳۸۴	زهرایی و همکاران
روش بهینه‌سازی مناسب‌تر و اقتصادی‌تر می‌باشد	الگوریتم ژنتیک	بهینه‌سازی شکل سدهای بتنی وزنی	۱۳۸۴	ملازاده و همکاران
کاهش هزینه‌های سیستم در روش بهینه‌سازی نسبت به روش معمول طراحی	الگوریتم ژنتیک	بهینه‌سازی سیستم کنترل سیل سد تأخیری	۱۳۸۵	غفاری و همکاران
عملکرد بهتر روش الگوریتم ژنتیک نسبت به روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم‌های ریاضی	الگوریتم ژنتیک	بهینه‌سازی مقطع سدهای وزنی بتنی	۱۳۸۵	دهقانی و همکاران
روش بهینه‌سازی موجب افزایش ضریب اطمینان سازه و کاهش وزن سازه می‌شود	روش بهینه‌سازی توپولوژی	طراحی بهینه سدهای انحرافی	۱۳۸۷	شمسائی و احمدی
مشخصات گزینه بهینه با زمان به مراتب کمتری نسبت به روش معمول مطالعه چنین سیستم‌هایی مشخص می‌گردد	نرم‌افزار لینگو (روش گرادیان کاهشی تعمیم‌یافته)	بهینه‌سازی ابعاد یک سیستم ترکیبی کنترل سیلاب	۱۳۹۰	علیمحمدی و همکاران

نورزاد و رضایان	۱۳۹۰	بهینه‌سازی مقطع سدهای خاکی با الگوریتم بهینه‌سازی جامعه‌ی مورچه‌ها	الگوریتم بهینه‌سازی جامعه‌ی مورچه‌ها	رفع مشکل دست یافتن به بهترین مقطع برای سد خاکی توسط الگوریتم بهینه‌سازی. که این کار با روش‌های سنتی بسیار دشوار و ناشدنی به نظر می‌رسد
علیمحمدی و همکاران	۱۳۹۱	بهینه‌سازی ابعاد گوره‌های حفاظت سیل	نرم‌افزار لینگو	با تهیه مدل بهینه‌سازی به راحتی می‌توان مشخصات گزینه بهینه را تعیین نمود
اژدري مقدم و جعفری‌ندوشن	۱۳۹۲	بهینه‌سازی هندسه سرریز کنگره‌ای و دوزنقه‌ای	الگوریتم ژنتیک	طرح بهینه شده جایگزین مناسبی برای طرح کنونی می‌باشد. طرح پیشنهادی موجب صرفه‌جویی در هزینه‌هایی اجرایی می‌شود
اصلانی و همکاران	۱۳۹۲	تعیین مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی سدهای بتنی وزنی	الگوریتم ژنتیک	توصیه به استفاده از اطلاعات به دست آمده در این روش، به عنوان ورودی در مدل بهینه‌سازی ابعاد هندسی سدهای بتنی وزنی
بزرگ‌حداد و همکاران	۱۳۹۲	بهینه‌سازی ساخت دایک‌های حفاظتی	الگوریتم ژنتیک	احداث دایک حفاظتی با روش بهینه‌سازی، منجر به کاهش خسارت و سودآوری طرح می‌شود
مرادی و همکاران	۱۳۹۲	بهینه‌سازی ابعاد مخازن کنترل سیلاب شامل ارتفاع سد و ابعاد سرریز بر اساس تحلیل اقتصادی سود-هزینه	نرم‌افزار لینگو	مدل بهینه‌سازی شده می‌تواند جایگزین روش‌های معمول شبیه‌سازی شود
دهقانی و همکاران	۱۳۹۳	بهینه‌سازی اقتصادی سیستم انحراف سد	الگوریتم ژنتیک	روش‌های ضرایب لاگرانژ و الگوریتم ژنتیک، روش‌های مناسبی جهت بهینه‌سازی هزینه ساخت سیستم انحراف می‌باشند
عرب و همکاران	۱۳۹۳	تعیین ابعاد بهینه جام پرتابی	الگوریتم ژنتیک	ابعاد بهینه جام پرتابی نسبت به ابعاد اولیه کوچکتر می‌باشد که باعث کاهش هزینه می‌گردد

جدول (۲-۲) تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی روش‌های غیرسازه‌ای کنترل سیل و مدیریت و بهره‌برداری مخزن

محقق(ها)	سال	عنوان تحقیق	نتیجه
Nandlal and sakthivade	۲۰۰۲	برنامه ریزی و مدیریت یک سیستم منابع آب پیچیده	سودمندی تکنیک‌های بهینه سازی در برنامه‌ریزی مخزن و استخراج سیاست‌های عملیاتی برای آنها
Labadie	۲۰۰۴	بهره برداری بهینه از سیستم مخزن	توانایی الگوریتم ژنتیک در برقراری ارتباط به طور مستقیم با مدل های شبیه سازی مورد اعتماد، یک مزیت بزرگ است
Afshar et al.	۲۰۰۶	کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی در مسائل بهره‌برداری مخزن	عملکرد خوب این روش برای به حداقل رساندن سراسری تابع هدف
Sattari et al.	۲۰۰۹	تجزیه و تحلیل عملیات آبیاری سد، با استفاده از روش بهینه‌سازی و شبیه‌سازی	نتایج خوب مدل با داده های شبیه سازی شده، منجر به ارائه سیاست عملیات سال‌های آینده
Afshar and Motaie	۲۰۱۱	ارائه راه‌حلی بهینه برای مسائل بزرگ مقیاس عملیات بهره‌برداری مخزن	نتایج نشان دهنده بهره‌وری و استحکام روش پیشنهادی برای حل مسائل مخزن می‌باشد
Fallah-Mehdipour et al.	۲۰۱۲	بهره برداری از سیستم مخزن توسط برنامه نویسی ژنتیک	ارائه روشی مناسب برای پیش‌بینی جریان و توسعه سیاست بهره‌برداری از مخزن
Ahmadianfar et al.	۲۰۱۲	بهره برداری بهینه از سیستم مخزن	ترکیب دو الگوریتم بهینه‌سازی GA و PSO دارای قابلیت خوبی در این زمینه می‌باشد
Adib, et al.	۲۰۱۲	بهینه سازی خروجی سد دز برای تامین نیاز پایین دست سد	روش GA می تواند به حداقل برساند تعداد شکست را و به حداکثر برساند توانایی بازگشت مخزن به شرایط عادی، نسبت به روش SDP
Husain	۲۰۱۲	بررسی تکنیک‌های بهره‌برداری از سیستم مخزن	تکنیک‌های مختلف هوش مصنوعی (الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی مورچگان و منطق فازی) به دلیل عملکرد مناسب، باید برای حل مسائل عملیات مخزن مورد استفاده قرار گیرند
Chenari et al.	۲۰۱۴	بهبود الگوریتم ژنتیک تطبیقی و کاربرد آن در بهره برداری کوتاه مدت بهینه از سیستم منابع آب	الگوریتم ژنتیک برای شرایط بحرانی مدلی کارا می‌باشد و مدل بهینه سازی شده علاوه بر تأمین کافی تقاضای منابع آب، می‌تواند برنامه مناسبی برای تولید انرژی برقایی و همچنین کنترل سیل ارائه کند.
Prakash et al.	۲۰۱۴	شبیه‌سازی و بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم چند مخزنه	از جستجو تکاملی برای بهره‌برداری برای کاهش حجم خروجی سیل از سد استفاده می‌شود
Sonaliya and Suryanarayana	۲۰۱۴	بهینه‌یابی عملیات مخزن	استفاده از روش بهینه‌سازی منجر به صرفه جویی قابل توجه در مقدار مصرف آب می‌شود

Shin et al.	۲۰۱۶	مدل توانبخشی بهینه سیستم‌های خطوط لوله آب	برای مدیریت کارآمد خطوط انتقال آب، مدل برنامه‌ریزی بهینه برای خدمات با کیفیت و خوب، مورد نیاز است
Lin and Rutten	۲۰۱۶	بهره برداری بهینه از شبکه مخزن چند منظوره	تکنیک‌های برنامه‌نویسی نوین می‌توانند بر برخی از محدودیت‌های برنامه ریزی خطی غلبه کنند
زهرا یی و تکشی	۱۳۸۷	کاربرد روش‌های الگوریتم ژنتیک و K-نزدیکترین همسایه در تدوین سیاست‌های بهره‌برداری از مخزن در زمان وقوع سیلاب	نتایج بیانگر کارایی دو مدل مذکور در تدوین سیاست بهره‌برداری از سد در زمان وقوع سیلاب می‌باشد
آبش‌زاده اصل و همکاران	۱۳۸۷	مدیریت و بهره‌برداری بهینه برداشت آب از مخزن سد علویان	مقادیر برداشت ماکزیمم پاسخگوی نیاز ماهانه نبوده و حجم فعال اولیه مخزن با توجه به مدیریت بهینه سازی به طور صحیح انتخاب نگردیده است
مومنی و رضایی	۸۷	مدلسازی بهره‌برداری از مخزن سد ارس	مدل پویای احتمالی نتایج برتری از مدل پویای قطعی دارد
برهانی‌داریان و احمدی	۱۳۸۷	بهره‌برداری بهینه از سیستم چند مخزنی	ارائه راهکاری برای کاهش حافظه و زمان مورد نیاز در رایانه و تایید کارایی روش بهینه‌سازی
اشرف‌واقفی و همکاران	۱۳۸۸	بهینه‌سازی خروج رسوبات سدها با استفاده از مدل بهره‌برداری از مخزن	ارائه راهکارهای اجرایی برای دستیابی به راندمان رسوب‌زدائی بالاتر و تأمین بهتر نیازهای پایین‌دست، با استفاده از روش بهینه‌سازی
شیخ‌خوزانی و همکاران	۱۳۸۹	مدلسازی بهره‌برداری از مخازن چند منظوره	با اجرای سیاست‌های مناسب نه تنها می‌توان نیازهای مورد نظر را در حالت موجود تأمین نمود، بلکه می‌توان توسعه نیازها را نیز در نظر گرفت
علی محمدی و حسین‌زاده	۱۳۸۹	بررسی دو گزینه بهره‌برداری از آب زیرزمینی و بهره‌برداری تلفیقی منابع آب حوضه آبریز ابهر	کارآیی بهتر روش بهینه‌سازی نسبت به روش‌های شبیه‌سازی
جنت‌رستمی و همکاران	۱۳۸۹	مدیریت بهره‌برداری از سدهای مخزنی	با توجه به نتایج روش بهینه‌سازی، پیشنهاد داده شد که روش بهینه‌سازی برای مدیریت بهره‌برداری استفاده شود
ولیزادگان و همکاران	۱۳۹۰	بهره‌برداری بهینه از تخلیه‌کننده تحتانی جهت کمینه‌سازی رسوب‌گذاری در مخازن	می‌توان با ارتباط بین یک شبیه‌ساز و یک روش بهینه‌سازی، شکلف بین مدیریت مخزن و تئوری بهینه‌سازی رسوب‌گذاری را از بین برد

نوروزی و همکاران	۱۳۹۰	بهینه‌سازی بهره‌برداری از یک سیستم چندمخزنه برای دو سد گلستان و وشمگیر	با استفاده از روش بهینه‌سازی، ضریب اطمینان کارایی خوبی برای سیستم مورد مطالعه برآورد شد
ملاحسینی و همکاران	۱۳۹۰	بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن در حین سیلاب	کارامدی روش پیشنهادی در بهره‌برداری از مخزن
مفتاح‌هلقی و همکاران	۱۳۹۰	تعیین کمبود حجم بهینه مخزن سد وشمگیر در سیستم بهره‌برداری چند سدی	روش بهینه‌سازی مورد استفاده روشی کارآمد در برنامه‌ریزی منابع آب می‌باشد
عمادی و همکاران	۱۳۹۱	مقایسه چند الگوریتم بهینه‌سازی در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن	کارا بودن روش‌های بهینه‌سازی، و کارایی بهتر روش SA و مدل آینده‌ی نسبت به سیاست بهره‌برداری استاندارد
ولیزادگان و همکاران	۱۳۹۲	بهره‌برداری بهینه از تخلیه‌کننده تحتانی به منظور کمینه‌سازی رسوب‌گذاری در مخازن	الگوریتم ژنتیک، برای حداقل سازی رسوب‌گذاری از کارایی خوبی برخوردار می‌باشد
اعتدالی و همکاران	۱۳۹۳	بهینه‌سازی تخصیص منابع آب بین اراضی دیم و فاریاب	با مدیریت جدید تخصیص آب نسبت به مدیریت سنتی، سود خالص کل اراضی آبی و دیم، افزایش پیدا می‌کند
رستگاری‌پور و کرباسی	۱۳۹۳	بهره‌برداری بهینه از مخزن سد	ارائه راهکارهایی برای مقابله با بحران کم آبی سال‌های پیشرو
حسینی‌موغاری و بنی‌حبیب	۱۳۹۳	بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن برای تأمین آب کشاورزی و مقایسه چند الگوریتم	الگوریتم‌های استفاده شده دارای نتایج قابل قبولی در این زمینه می‌باشند و عملکرد GA بهتر از PSO می‌باشد
زینلی و همکاران	۱۳۹۴	مقایسه چند الگوریتم بهینه‌سازی در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن	در زمینه بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن، هر سه الگوریتم GA و PSO و ACOR عملکردی مناسبی دارند و GA بهتر از دو روش دیگر می‌باشد

تحقیقات انجام شده در بخش بهینه‌یابی سازه‌ای را می‌توان به چند بخش تقسیم نمود. در بخش اول، محققین بهینه‌سازی را فقط بر روی بخشی از یک سیستم بزرگتر انجام داده‌اند، که در این زمینه می‌توان به کارهای بزرگ‌حداد^{۲۷} و همکاران (۲۰۰۵)، دارای‌خواه^{۲۸} و همکاران (۲۰۰۹)، محمدی و

²⁷ Bozorg Hadad

²⁸ Daraeikhah

همکاران (۲۰۱۲)، شجاع و همکاران (۱۳۸۹)، علیمحمدی و همکاران (۱۳۹۱) و عرب و همکاران (۱۳۹۴) اشاره نمود که به ترتیب به بهینه‌یابی طراحی سرریز، بهینه‌یابی طراحی حوضچه آرامش، بهینه‌یابی ابعاد هسته رسی، بهینه‌یابی ابعاد سرریز، بهینه‌سازی ابعاد گورهای حفاظت سیلاب و تعیین ابعاد بهینه جام پرتابی اقدام نمودند.

در بخشی دوم، برخی محققین یک مجموعه یا یک سیستم را بهینه نمودند، که در این زمینه می‌توان به کارهای مرکوس^{۲۹} و همکاران (۲۰۰۳)، دیپکا^{۳۰} و سوری‌بابو^{۳۱} (۲۰۱۵)، شمسائی و احمدی (۱۳۸۷)، عصاره و زمردیان (۱۳۸۹)، دهقانی و همکاران (۱۳۹۳) اشاره نمود که به ترتیب بر روی بهینه‌سازی هزینه سد بتنی، بهینه‌سازی طراحی مخزن، طراحی بهینه سد بتنی، بهینه‌یابی طراحی سد انحرافی، بهینه‌سازی ارتفاع سد و ابعاد سرریز، بهینه‌سازی اقتصادی سیستم انحراف سد تحقیق نموده‌اند. در بخش سوم، برخی محققین علاوه بر بهینه‌یابی یک مجموعه سیستم، شبیه‌سازی سیستم (روندسیل در پایین‌دست یا بهره‌برداری بهینه) را نیز انجام داده‌اند. که برای این بخش نیز می‌توان به محققینی همچون هرینسون^{۳۲} و همکاران (۲۰۰۲)، منتصری^{۳۳} و همکاران (۲۰۱۴)، منادی^{۳۴} و همکاران (۲۰۱۶)، شفیع و همکاران (۱۳۸۴)، زهرایی و همکاران (۱۳۸۴)، غفاری و همکاران (۱۳۸۵)، علیمحمدی و همکاران (۱۳۹۱)، بزرگ‌حداد و همکاران (۱۳۹۲)، مرادی و همکاران (۱۳۹۲) اشاره نمود که به ترتیب به بهینه‌سازی ارتفاع سد و بهره‌برداری برای تولید انرژی برق، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تصفیه فاضلاب‌های سطحی، بهینه‌سازی و تحلیل سود به هزینه‌ی مخازن سدها، بهینه‌سازی مسیر استقرار دیواره‌های حفاظت سیلاب همراه با شبیه‌سازی سیل، بهینه‌سازی طراحی و بهره‌برداری از مخازن برق آبی، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی سیل در مخزن برای کنترل سیل سدهای تأخیری، بهینه‌سازی ابعاد

²⁹ Marcos

³⁰ Deepika

³¹ Suribabu

³² Hreinsson

³³ Montaseri

³⁴ Monadi

گروه‌های حفاظت سیل همراه با شبیه‌سازی سیل، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی ساخت دایک‌های حفاظت سیلاب، بهینه‌سازی و تحلیل سود به هزینه مخازن کنترل سیلاب پرداخته‌اند.

در بخش بهره‌برداری نیز، نوع بهینه‌سازی بستگی به کارایی سد مورد مطالعه دارد. به عنوان مثال، اگر سد برای اهداف کشاورزی و کنترل سیل، ساخته شده باشد، باید بهره‌برداری به نحوی صورت گیرد که نیازهای هر دو هدف برآورده گردد.

با توجه به مطالب فوق‌الذکر و مطالعات انجام شده، می‌توان به این نتیجه رسید که در بخش بهینه‌سازی ارتفاع سد مخزنی خاکی، مطالعات کمی انجام شده و تفاوت این تحقیق با دیگر تحقیقات انجام شده را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

در این تحقیق، عملیات بهینه‌یابی بین ارتفاع سد مخزنی، رقوم گره‌ها (شیب کانال) و ابعاد کانال (از نوع دوزنقه) صورت گرفته است. برای انجام این بهینه‌سازی برای یک سیل با دبی طرح مشخص (حداکثر سیل محتمل)، در برنامه بهینه‌سازی، ابعاد مختلفی برای اجزای سیستم کنترل سیل تولید می‌شود و توسط الگوریتم ژنتیک، بهینه‌ترین حالت ممکن که از لحاظ هزینه، کمینه است و همچنین تمام ملاحظات هیدرولیکی و محدودیت‌ها را رعایت کند، برای سیستم کنترل سیل انتخاب خواهد شد. و در قسمت دیگر از این تحقیق، توانایی الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی برداشت آب از مخزن برای تأمین نیاز پایین‌دست سد نیز بررسی گردیده است.

فصل سوم

مولد و روش ها

۳-۱-مقدمه

هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک در بخش بهینه‌یابی سیستم کنترل سیل و همچنین تاثیر آن در بهینه‌سازی حجم مخزن برای تأمین نیاز می‌باشد. در فصول قبل سیل، انواع و روش‌های کنترل آن و همچنین خلاصه‌ای از بهینه‌سازی و الگوریتم ژنتیک شرح داده شد. در این فصل ابتدا منطقه مطالعاتی شرح و سپس سیستم کنترل سیل مطالعاتی معرفی و روش‌های محاسبات و طراحی آن و نیز اجزای الگوریتم ژنتیک انتخاب شده در این تحقیق، شرح داده شده است.

۳-۲-منطقه مطالعاتی

استان گلستان دارای ۵ حوضه آبریز می‌باشد که حوضه آبریز گرگانرود بزرگترین حوضه هم از نظر مساحت و هم از نظر پتانسیل آب در این استان می‌باشد. حوضه آبریز گرگانرود دارای ۱۵ زیر حوضه می‌باشد و از جمله زیرحوضه‌های این حوضه می‌توان به زیرحوضه‌های زرینگل (یا سرخه‌محلّه)، زیرحوضه‌ی کبودوال (یا قوشک‌رپی) و زیرحوضه‌ی محمدآباد را نام برد، که این زیرحوضه‌ها در جنوب و جنوب‌غربی شهرستان علی‌آباد کتول واقع شده‌اند. زیرحوضه‌ی کبودوال از ارتفاعات هارون در جنوب شهرستان علی‌آباد کتول سرچشمه گرفته و پس از عبور از داخل شهرستان علی‌آباد کتول به رودخانه قره‌سو می‌پیوندد، و زیرحوضه زرینگل نیز از ارتفاعات سرخان، میلان، تکیانو، آقند و کمر در جنوب علی‌آباد کتول، سرچشمه گرفته و پس از عبور از حومه شرقی شهرستان علی‌آباد کتول در نهایت به رودخانه قره‌سو می‌پیوندد (حسینی، ۱۳۹۳). سد کبودوال که بهینه‌سازی بر روی این سد انجام شده است، در جنوب‌شرقی شهرستان علی‌آباد کتول واقع شده است، که ورودی‌های این سد را رودخانه‌های زرینگل و کبودوال تشکیل می‌دهند. مشخصات سد کبودوال در جدول (۳-۱) نشان داده شده است.

جدول (۳-۱) مشخصات سد کبودوال

نوع سد	خاکی همگن
ارتفاع از کف	۳۲/۲۵ متر
عرض در تاج	۱۰ متر
طول تاج	۱۳۷۲ متر
ارتفاع نرمال آب در مخزن	۲۷/۲۵ متر
گنجایش مخزن در تراز نرمال	حدود ۱۹ میلیون متر مکعب
سرریز	اضطراری آزاد بدون دریچه
عرض خالص سرریز	۱۰ متر
ارتفاع تیغه آب روی سرریز	۱/۱۱
تعداد مجاری تخلیه‌کننده تحتانی	۲ عدد
رقوم ورودی آبگیر اول تخلیه‌کنند تحتانی	۱۷۰/۵ متر
رقوم ورودی آبگیر دوم تخلیه‌کنند تحتانی	۱۷۳/۵ متر
طول لوله آبگیر اول	۳۰۴ متر
طول لوله آبگیر دوم	۳۱۲ متر
نوع مجاری و قطر	لوله فولادی به قطر ۰/۹ متر
حداکثر ظرفیت تخیه‌کننده تحتانی	۸ متر مکعب بر ثانیه

و همچنین نقشه‌ی ماهواره‌ای سد کبودوال، در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.



شکل (۳-۱) نقشه ماهواره‌ای محدوده سد کبودوال

۳-۳- معرفی سیستم کنترل سیل

سیستم کنترل سیلاب مورد نظر از یک سد مخزنی، تخلیه‌کننده تحتانی و کانال‌های انتقال آب از سد به رودخانه پایین‌دست تشکیل شده است. در نتیجه عواملی که در ابعاد و هزینه این سیستم نقش دارند مواردی همچون ارتفاع سد، ابعاد کانال، حجم خاکریزی و خاکبرداری و پوشش کانال می‌باشند که باید این موارد به نحوی طراحی شوند که علاوه بر تأمین نیازهای پایین‌دست و مهار سیلاب‌های احتمالی، دارای کمترین هزینه نیز باشند.

در بحث مربوط به تغییر ارتفاع سد، چون با بیشتر شدن ارتفاع سد حجم مخزن افزایش یافته و مخزن قادر به ذخیره حجم بیشتری از سیل خواهد بود، بسته به اندازه سطح مقطع تخلیه‌کننده تحتانی و ارتفاع آب در مخزن، حداکثر دبی خروجی نیز تغییر خواهد کرد. در نتیجه می‌توان اظهار نمود که با افزایش ارتفاع سد (با ثابت بودن سطح مقطع تخلیه‌کننده تحتانی)، به علت ذخیره بخشی از سیل، حداکثر دبی خروجی کمتری و با کاهش ارتفاع سد، حداکثر دبی خروجی بیشتری برای خارج کردن سیل از سد نیاز می‌باشد. با مشخص بودن ارتفاع سد، حداکثر خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی به دست می‌آید. و متناسب با حداکثر دبی خروجی، ابعاد کانال‌های پایین‌دست، کاهش یا افزایش می‌یابد. که این تغییر ابعاد کانال‌ها بر روی پوشش مقاوم کانال و همچنین خاکبرداری و خاکریزی کانال نیز موثر است، که موجب تغییر در هزینه این سیستم می‌گردد. حال سوال این است که چه ترکیبی از این ابعاد دارای کمترین هزینه می‌باشد، به نحوی که ملاحظات طراحی و نیاز پایین‌دست نیز برآورده شود؟ برای پاسخ به این سوال و یافتن ابعاد بهینه این سیستم، از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در این تحقیق استفاده شده است. و در الگوریتم ژنتیک باید متغیرهایی که بهینه‌سازی بر روی مقدار آنها انجام می‌شود به برنامه معرفی شوند. پس اولین قدم انتخاب متغیرهای تصمیم الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

۳-۱- انتخاب متغیرهای تصمیم برای روش سازه‌ای کنترل سیل

در بهینه‌یابی ارتفاع سد، اگر ارتفاع سد را متغیر در نظر بگیریم، برای یک تخلیه‌کننده با ابعاد ثابت، و با فرض پر بودن مخزن، اگر ارتفاع سد کوتاه و نزدیک به رقوم نرمال انتخاب گردد، و اگر حداکثر سیل محتمل نیز رخ دهد، ممکن است که خطر سرریزی از تاج سد خاکی وجود داشته باشد، که به منزله شکست سیستم می‌باشد. اگر هم ارتفاع سد و هم ابعاد تخلیه‌کننده تحتانی را متغیر (که بتواند سیل‌های حداکثر را از خود عبور دهد) در نظر بگیریم، یک متغیر دیگر به مسئله اضافه می‌شود. ولی اگر فقط ابعاد تخلیه‌کننده تحتانی را متغیر در نظر بگیریم، آن وقت ارتفاع سد، متغیر وابسته به ابعاد تخلیه‌کننده می‌باشد، که با این انتخاب از متغیرهای مسئله کاسته می‌شود. پس در نتیجه در این تحقیق، برای بهینه‌یابی ارتفاع سد، ابعاد لوله‌ی تحتانی را متغیر در نظر می‌گیریم.

ارتفاع سد به این دلیل متغیر وابسته می‌باشد که اگر، ابعاد تخلیه‌کننده تحتانی متغیر باشد، و مقداری برای تخلیه‌کننده تحتانی انتخاب شود، با فرض رخ دادن حداکثر سیل محتمل در مخزن و با فرض پر بودن مخزن، با روندیابی سیل در مخزن، نحوه‌ی تغییرات سیل در مخزن و خروج آن مشخص می‌شود. ارتفاع یک سد، برابر با مجموع ارتفاع رقوم نرمال، ارتفاع حداکثر سیل، ارتفاع سرریز، ارتفاع آزاد و ارتفاع ناشی از نشست می‌باشد. که در بین این رقوم، رقوم نرمال سد، ارتفاع سرریز، ارتفاع آزاد، ارتفاع ناشی از نشست ثابت می‌باشند و فقط ارتفاع حداکثر سیل متغیر وابسته به ابعاد تخلیه‌کننده تحتانی می‌باشد، که اگر ابعاد تخلیه‌کننده‌ها تغییر کند، حجم کنترل سیل در مخزن نیز تغییر می‌کند. پس انتخاب ابعاد تخلیه‌کننده تحتانی به عنوان متغیر مسئله بر انتخاب ارتفاع سد ارجحیت دارد.

برای هر ارتفاع سدی (در پی تغییر ابعاد تخلیه‌کننده تحتانی)، یک حداکثر خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی داریم، که از این حداکثر دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی (که از طریق روندیابی سیل در مخزن به دست می‌آید) برای محاسبه ابعاد کانال انتقال آب پایین‌دست و همچنین مقدار ضخامت پوشش کانال استفاده می‌شود. پس از محاسبه ابعاد کانال و با توجه به شیب کانال، حجم‌های خاکریزی و خاکبرداری نیز به دست می‌آید.

از بحث‌های بالا می‌توان نتیجه گرفت که اگر سطح مقطع تخلیه‌کننده تحتانی تغییر کند، حداکثر دبی خروجی از سد نیز تغییر می‌کند که این خود بر حداکثر حجم آب در مخزن بعد از رخ دادن سیل موثر است که در نهایت تأثیر آن بر ارتفاع سد می‌باشد. و همچنین با این تغییر سطح مقطع و در پی آن تغییر حداکثر دبی خروجی، ابعاد کانال‌های پایین دست نیز تغییر می‌کند که این ابعاد را می‌توان متغیرهای وابسته به حداکثر دبی خروجی نامگذاری نمود. عامل دیگری که باعث تغییر ابعاد کانال می‌شود، شیب کانال می‌باشد، که با تغییر آن، هم ابعاد کانال و هم حجم خاکبرداری و خاکریزی و مقدار حجم پوشش کانال تغییر می‌کنند. پس در نتیجه، با انتخاب دو متغیر ابعاد تخلیه‌کننده تحتانی و شیب کانال، اقدام به بهینه‌سازی این سیستم می‌گردد.

۳-۳-۲- انتخاب متغیرهای تصمیم برای روش غیر سازه‌ای کنترل سیل (مدیریت

بهره‌برداری)

در بهینه‌یابی روش غیرسازه‌ای کنترل سیل (مدیریت بهره‌برداری)، بهینه‌سازی بر روی سدی انجام می‌شود که ساخته شده است، و هدف از این بهینه‌یابی، بسته به کارایی سد ساخته شده بستگی دارد. به عنوان مثال اگر سدی برای تولید برق و همچنین کنترل سیل ساخته شده باشد، باید خروجی از مخزن به نحوی باشد که علاوه بر کنترل سیل، تولید برق نیز حداکثر گردد. چون سد مخزنی کبودوال فقط برای تأمین نیازهای کشاورزی ساخته شده است، در نتیجه باید خروجی‌های مخزن به نحوی انتخاب شوند که علاوه بر کنترل سیل ورودی، نیاز پایین‌دست را نیز باید به طور کامل، برآورده کنند. پس در نتیجه متغیر تصمیم برای الگوریتم ژنتیک، در این روش، خروجی‌های ماهانه سد (به تعداد ماه مورد نظر) می‌باشد.

نیاز پایین دست سد کبودوال شامل، نیاز ماهانه اراضی کشاورزی و هم چنین نیاز رودخانه^{۳۵} کبودوال (۹۳۳۱۲۰ متر مکعب) می باشد که در جدول (۲-۳) مقادیر ماهانه این نیازها نشان داده شده است. البته این بهینه یابی با در نظر گرفتن ماه های سیلابی^{۳۶} انجام می شود. که در ماه های سیلابی، حجم مخزن نباید بیشتر از رقوم نرمال شود.

جدول (۲-۳) مقادیر حقابه های طرح سد مخزنی کبودوال (طراح مطالعاتی سد کبودوال)

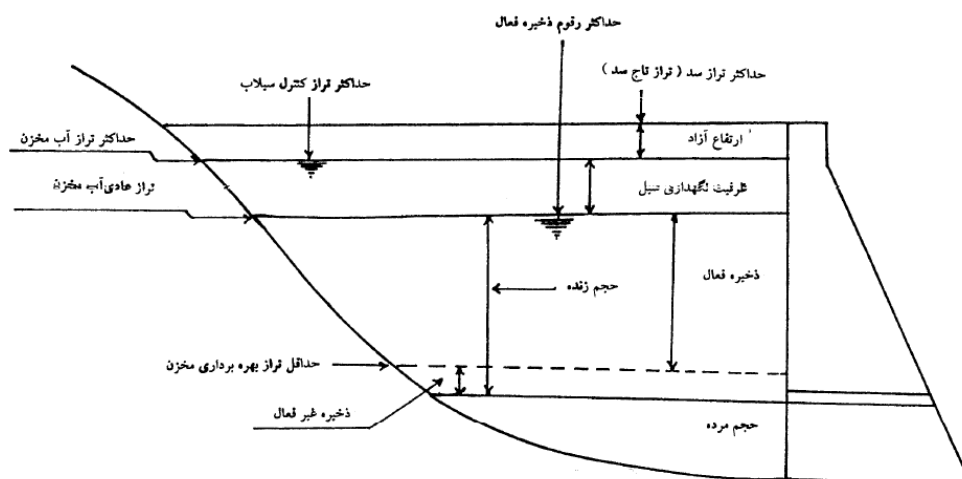
ماه	نوع حقابه های فعلی در منطقه طرح (میلیون متر مکعب)				مجموع
	تابستانه (برنج)	بهاره	پائیزه	آب بندها	
مهر	۰/۵	-	۰/۸	-	۱/۳
آبان	-	-	۰/۲	-	۰/۲
اسفند	-	۰/۷	-	۲	۲/۷
فروردین	-	۲/۹	-	۴	۶/۹
اردیبهشت	-	۳/۱	-	-	۳/۱
خرداد	۱/۵	۱/۲	-	-	۲/۷
تیر	۲/۵	-	۱/۲	-	۳/۷
مرداد	۱/۹	-	۱/۱	-	۳
شهریور	۱/۶	-	۱/۴	-	۳
سال	۸	۷/۹	۴/۷	۶	۲۶/۶

همانطور که گفته شده، در این تحقیق برای بهینه یابی سیستم کنترل سیل از دو روش کنترل به وسیله سد مخزنی و کنترل به وسیله مدیریت بهره برداری از سد استفاده شده است، که در ادامه توضیحاتی درباره مسائل دو روش مذکور ارائه شده است.

۳-۴- مشخصات فیزیکی مخزن

یک سد مخزنی از احجام مختلفی تشکیل شده است که شکل (۲-۳) احجام مختلف مخزن را نشان می دهد. ذیلا با معرفی پارامترهایی به شرح زیر مشخصات فیزیکی مخزن ارائه می گردد.

^{۳۵} نیاز رودخانه پایین دست برابر است با حداکثر آبدهی در ماهی که دارای کمترین آبدهی می باشد (نوری و همکاران، ۱۳۸۷).
^{۳۶} از آبان ماه تا اردیبهشت ماه هر سال (اشرفی و برهانی داریان، ۱۳۹۰).



شکل (۳-۲) تخصیص ظرفیت مخزن به احجام مختلف (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۴-۱- حجم مخزن در تراز عادی

این حجم مربوط به بخشی از مخزن در تراز معادل حداکثر ارتفاع سطح آب از مخزن در شرایط بهره‌برداری معمولی است. این بخش از مخزن را نگهداری نیز می‌گویند که شامل حجم مرده و حجم زنده مخزن است و حد فوقانی آن مجاور منطقه کنترل سیلاب در مخزن خواهد بود (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۴-۲- حداکثر حجم مخزن

حداکثر حجم مخزن عبارت از مجموع احجام مربوط به حجم مرده، حجم زنده و ذخیره کنترل سیلاب است. حد فوقانی این بخش از مخزن منطبق بر حد فوقانی ذخیره کنترل سیلاب است (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳). و در واقع برابر با حداکثر ارتفاع آب است در زمانی که به علت سیلاب، آب از روی سرریز جریان دارد (شمسائی، ۱۳۸۳).

۳-۴-۳- حداکثر تراز بهره‌برداری

تراز نظیر حداکثر حجم مخزن را حداکثر تراز بهره‌برداری می‌نامند، که این تراز منطبق بر حد فوقانی تراز سیلابی مخزن است (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۴-۴- حداقل تراز بهره‌برداری

تراز ارتفاعی نظیر حداکثر حجم مرده مخزن را حداقل تراز بهره‌برداری می‌نامند (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳). این مقدار معمولاً برابر با تراز پایین‌ترین ارتفاع خروجی سد می‌باشد (شمسائی، ۱۳۸۳). به طور کلی این تراز پایین‌ترین ارتفاع مخزن است که در شرایط عادی از آن بهره‌برداری به عمل می‌آید (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۴-۵- حجم مرده مخزن

رقوم مرده مربوط به حداکثر رقومی می‌باشد که در زمان عمر مفید سد، رسوبات می‌توانند در مخزن جمع شوند (بیرامی، ۱۳۹۱)، که معمولاً از کف مخزن تا حداقل تراز بهره‌برداری را شامل می‌شود. این بخش از مخزن در شرایط عادی غیرقابل استفاده است (البته در خشکسالی‌های شدید ممکن است از آب موجود در این بخش استفاده به عمل آید) (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۴-۶- سرریز اضطراری

از این نوع سرریز برای سدهای خاکی و سنگریزه‌ای استفاده می‌شود. هدف از ساختن این نوع سرریز جلوگیری از سرریز کردن آب از روی سد و در نتیجه خراب شدن آن می‌باشد. به طور کلی چنانچه سد برای بده سیل محتمل طراحی شود، ممکن است هزینه طرح خیلی بالا برود. در این صورت یک راه‌حل ممکن وجود دارد و آن طراحی یک سرریز اضطراری است این سرریز فقط در شرایط غیرعادی سیلابی عمل می‌کند و در نتیجه از سرریز شدن جریان از روی سد جلوگیری می‌نماید (سامانی، ۱۳۷۶).

۳-۴-۷-ارتفاع آزاد

ارتفاع آزاد به منظور ایجاد حاشیه ایمنی برای جلوگیری از لبریزی سدها در نظر گرفته می‌شود. ارتفاع آزاد معمولاً به دو جزء ارتفاع مربوط به میزان بالا آمدگی جریان سیلاب بالاتر از تراز حداکثر و ارتفاع آزاد مربوط به اثرات باد و امواج ناشی از آن تقسیم می‌شود. در نتیجه در محاسبات ارتفاع آزاد کل، می‌بایست، پیش‌بینی لازم برای، بدترین حالت ترکیب قابل قبول عواملی که ممکن است هر یک در محاسبه ارتفاع آزاد نقش داشته باشند، مد نظر طراح قرار گیرند (فولادی، ۱۳۷۹).

پس از تعیین مؤلفه‌های موثر در محاسبه عمق آزاد، مقدار نهایی آن با توجه به مجموع یکی از شرایط زیر تعیین و در طراحی سد منظور می‌گردد:

$$\text{ارتفاع آزاد} = \begin{cases} \text{ماکزیمم ارتفاع سطح آب در سیل بزرگ} + \text{باد نرمال} \\ \text{یا} \\ \text{سطح آب در شرایط سیل نرمال} + \text{باد با ماکزیمم سرعت} \\ \text{یا} \\ \text{سطح آب نرمال (بدون سیل)} + \text{اثر شدیدترین باد} + \text{موج‌های ناشی از زلزله یا لغزش} \end{cases} \quad (1-3)$$

معمولاً بر اثر تحکیم مصالح بدنه سد و پی آن، مقداری نشست حاصل خواهد شد که از عمق آزاد سد خواهد کاست. این مقدار نشست در سدهای خاکی به طور معمول معادل ۲ درصد ارتفاع سد فرض می‌شود. در مواردی که ارتفاع سد بیشتر از ۳۰ متر باشد، لازم است یک درصد نیز برای جبران نشست ناشی از زلزله لحاظ شود و بدین ترتیب مقدار کل نشست در سدهای مرتفع بیش از ۳۰ متر، حدود ۳ درصد ارتفاع آن منظور می‌شود (رحیمی، ۱۳۸۲).

۳-۵-تخصیص ظرفیت مخزن به احجام مختلف

اهم احجام تشکیل دهنده مخزن عبارتند از: حجم زنده، حجم مرده، حجم ذخیره کنترل سیلاب، که در ادامه هر یک از این احجام تعریف و شرح داده خواهند شد:

۳-۵-۱-حجم زنده

بخش عمده ذخیره مخزن را حجم زنده تشکیل می‌دهد. این بخش از مخزن، جریان‌ات فصول پرآبی را به منظور مصرف در زمان کم‌آبی در خود نگهداری می‌نماید. به عبارت دیگر مسوولیت اصلی تنظیم جریان‌ات خروجی از مخزن مربوط به حجم آب ذخیره شده در این بخش است. حجم زنده این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان از آب به صورت تقریباً یکنواخت و به مقدار بیشتر از حداقل جریان‌ات ورودی استفاده نمود و به طور خلاصه حجم زنده به ذخیره آب واقع بین حداقل تراز بهره‌برداری و تراز عادی آب اطلاق می‌شود (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۵-۲-حجم مرده

این مقدار برابر با حجم آب پایین‌تر از تراز حداقل مخزن می‌باشد که در شرایط معمولی هیچ استفاده‌ای ندارد (شمسائی، ۱۳۸۳).

۳-۵-۳-حجم ذخیره کنترل سیل

حجم ذخیره کنترل سیلاب به بخشی از مخزن که در بین تراز عادی آب مخزن و حداکثر تراز آب مخزن واقع شده است، اطلاق می‌گردد. تعیین حداکثر تراز آب در مخزن به طریق "روندیابی سیل طراحی در مخزن" صورت می‌گیرد (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۵-۱-روندیابی سیل

روندیابی سیل یکی از مسائل مربوط به جریان‌های غیردائمی است که از اهمیت عملی خاصی برخوردار بوده و برای حل آن می‌توان از روش‌ها و تکنیک‌های مختلف هیدرولیکی و هیدرولوژیکی استفاده نمود (حسینی و ابریشمی، ۱۳۷۸). در روندیابی هیدرولیکی از معادله پیوستگی جریان و معادله حرکت استفاده شده و اساس آن بر تئوری جریان‌های غیردائمی، استوار است. این نوع روندیابی، دقیق

بوده ولی مشکل اصلی آن دشواری حل معادلات و طلب کردن اطلاعات وسیع می‌باشد (مهدوی، ۱۳۹۰)، که باعث می‌گردد که تا در اکثر موارد از روش‌های هیدرولوژیکی که با اتخاذ فرض‌هایی، مسأله را به میزان قابل ملاحظه‌ای ساده می‌نماید، استفاده گردد (حسینی و ابریشمی، ۱۳۷۸).

روندیابی سیل به دو روش روندیابی ذخیره^{۳۷} و روندیابی رودخانه^{۳۸} صورت می‌گیرد که در اولی از روش‌هایی استفاده می‌گردد که تغییرات سیل ضمن عبور از یک مخزن را مورد مطالعه قرار می‌دهند و در دومی حرکت سیل از رودخانه و با توجه به کم اهمیت بودن مقدار ذخیره بررسی می‌گردد (حسینی و ابریشمی، ۱۳۷۸).

۳-۵-۲- تعیین حداکثر دبی خروجی از سازه‌های هیدرولیکی در حین روندیابی سیل

در بسیاری از موارد، هدف از روندیابی سیل عبارت است از: تعیین حداکثر دبی خروجی از سازه‌ی هیدرولیکی کنترل کننده‌ی جریان، به منظور طراحی آن. به عنوان مثال چنانچه بخواهیم سرریز و یا تونل انحراف در یک سد را از نظر هیدرولیکی طراحی نمائیم، کافی است تا بتوانیم حداکثر دبی خروجی از آن را در حین وقوع سیلاب معین کنیم که این عمل عموماً با استفاده از روش‌های روندیابی سیل و با توجه به خصوصیات هیدرولیکی سازه‌ی موردنظر و این که با تغییر حجم و ارتفاع مخزن، چه مقدار آب را از خود عبور داده و نهایتاً می‌بایست گنجایش عبور چه مقدار آب را داشته باشد، انجام می‌پذیرد. بنابراین اگر بتوان حداکثر دبی خروجی را در طول مدت سیلاب از سازه‌ی موردنظر (اعم از اینکه به صورت تحت فشار عمل می‌کند یا آزاد) به هر طریق محاسبه نمود، می‌توان بلافاصله ابعاد لازم برای طراحی هیدرولیکی سازه را معین ساخت (حسینی و ابریشمی، ۱۳۷۸).

دبی خروجی نیز می‌تواند از سرریزها و یا دریاچه‌ها و یا هر دوی آنها تخلیه گردد که به صورت زیر قابل محاسبه است:

³⁷ Storage Routing

³⁸ River Routing

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad \text{برای روزنه‌ها و دریچه‌ها} \quad (۲-۳)$$

$$Q = CLH^{1.5} \quad \text{برای سرریزهای مستطیلی} \quad (۳-۳)$$

که در این روابط: C = ضریب روزنه و یا سرریز، A = سطح مقطع روزنه، L = عرض سرریز، H = ارتفاع آب بالاتر از مرکز ثقل روزنه و یا ارتفاع آب قبل از رسیدن به سرریز است (مهدوی، محمد. ۱۳۹۰). و برای تخلیه کننده تحتانی H = بار آبی (رقوم ارتفاع آب از سطح مخزن در سراب تا رقوم مرکز لوله در پایاب با در نظر گرفتن افت‌های مسیر). و اگر چنانچه سطح آب در پایاب پایین تر یا هم سطح تراز محور خروجی لوله آبگیر قرار بگیرد، جریان آزاد به حساب آمده و معادله برنولی بین رقوم طراحی در سراب و رقوم محور لوله آبگیر نوشته می‌شود. در صورتی که رقوم سطح آب در پایاب بالاتر از رقوم محور خروجی لوله باشد، معادله بین سطوح آب در دو سر سازه نوشته خواهد شد، در این حالت جریان مستغرق می‌شود (بیرامی، ۱۳۷۶). افت‌های مسیر خروج جریان از مخزن تا دهانه خروجی از تخلیه کننده تحتانی از روابط زیر به دست می‌آید:

الف- افت در طول لوله آبگیر (h_f)

این افت بستگی به طول لوله L ، قطر لوله d_0 و سرعت جریان در لوله V دارد.

$$h_f = f \left(\frac{L}{d_0} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (4-3)$$

در رابطه (۴-۳)، که به معادله دارسی-وایسباخ معروف است، ضریب اصطکاک (f) به عدد رینولدز و زبری نسبی بستگی دارد که از دیاگرام مودی به دست می‌آید. در بسیار از مسائل عملی بجای معادله (۴-۳)، افت در طول لوله از رابطه زیر، که بر اساس معادله مانینگ نوشته شده است، محاسبه می‌شود:

$$h_f = S_f L = 19/6 \times n^2 \left(\frac{L}{R^{4/3}} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (5-3)$$

که در این رابطه: $R =$ شعاع هیدرولیکی و برابر با $\frac{1}{4}$ قطر لوله می‌باشد، $n =$ ضریب زبری که برای لوله‌های فولادی 0.012 است (بیرامی، ۱۳۹۱).

ب- افت در توری آشغالگیر (h_t)

افت در توری آشغالگیر را میتوان از رابطه (۳-۶) به دست آورد:

$$h_t = K_t \left(\frac{V_n^2}{2g} \right) \quad (6-3)$$

$$K_t = 1.45 - 0.45 \left(\frac{A_n}{A_g} \right) - \left(\frac{A_n}{A_g} \right)^2 \quad (7-3)$$

که در این روابط: $K_t =$ ضریب افت موضعی در آشغالگیر، $A_n =$ سطح خالص آشغالگیر، $A_g =$ سطح ناخالص آشغالگیر، و $V_n =$ سرعت آب در سطح خالص آشغالگیر (سامانی، ۱۳۷۶).

با فرض اینکه ۵۰ درصد سطح خالص آشغالگیر بوسیله آشغال و مواد معلق گرفته شده باشد و با

توجه به اینکه سطح ناخالص آشغالگیر حدود ۲۰ درصد بیشتر از سطح خالص است، $\frac{A_g}{2A_n}$ برابر با $1/2$ می‌شود (بیرامی، ۱۳۹۱).

ج- افت در دهانه ورودی (h_{in})

این میزان افت بستگی به شکل دهانه ورودی دارد. ضریب افت در دهانه ورودی، K_{in} ، برای دهانه

ورودی لبه تیز 0.5 و برای دهانه شیپوری حدود 0.05 است (بیرامی، ۱۳۹۱).

که با توجه به شیپوری بودن دهانه ورودی سد کبودوال، مقدار 0.05 انتخاب می‌گردد.

$$h_{in} = K_{in} \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (8-3)$$

در این رابطه، V سرعت جریان در لوله است.

د-افت در دریچه‌ها و شیرها (h_g)

برای محاسبه افت در دریچه‌ها از رابطه (۹-۳) استفاده می‌شود.

$$h_g = K_g \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (9 - 3)$$

چنانچه دریچه کاملاً باز باشد و سطح مقطع بالادست و پایین‌دست آن دایره‌ای و برابر باشد، تنها افت در شیر مربوط به دریچه بوجود می‌آید که K_g از ۰/۱ تجاوز نمی‌نماید. و برای دریچه‌ی پروانه‌ای در مجرای عریض در زمانی که دریچه کاملاً باز است، $K_g = 0/15$ و برای مجرای تنگ این ضریب تا ۰/۵ می‌رسد (بیرامی، ۱۳۹۱). نوع دریچه‌ی انتخابی از نوع پروانه‌ای می‌باشد.

برای سد مخزنی کبودوال حداکثر دبی خروجی از تخلیه‌کننده‌های تحتانی از روابط زیر به دست می‌آید:

$$Q_{\max 1} = C \times A_1 \sqrt{\frac{2 \times g \times h_1}{\sum k_{in 1}}} \quad (10 - 3)$$

$$Q_{\max 2} = C \times A_2 \sqrt{\frac{2 \times g \times h_2}{\sum k_{in 2}}} \quad (11 - 3)$$

که در روابط بالا: $Q_{\max 1}$ = حداکثر دبی خرجی از تخلیه‌کننده اول، $Q_{\max 2}$ = حداکثر دبی خروجی از تخلیه‌کننده دوم، C = ضریب روزنه، A_1 و A_2 = به ترتیب سطح مقطع تخلیه‌کننده اول و دوم، h_1 و h_2 = بار آبی (متر) که تابعی از تراز سطح آب مخزن و تراز محور مقطع کنترل است، (نشریه شماره ۵۲۱ وزارت نیرو، ۱۳۸۸). چون هر دو آبگیر در ناحیه خروجی در یک تراز قرار دارند، برای هر دو تخلیه‌کننده مقدار h ، یکسان به دست می‌آید. $\sum k_{in 1}$ و $\sum k_{in 2}$ = مجموع ضرایب افت‌های موجود در مسیر.

مجموع ضرایب افت‌ها، $\sum k_{in 1}$ و $\sum k_{in 2}$ از رابطه‌های زیر به دست می‌آیند:

$$\sum k_{in 1} = 2.2542 + 19.6 \times \frac{l_1}{\left(\frac{d_1}{4}\right)^{\frac{4}{3}}} \quad (12 - 3)$$

$$\sum k_{in2} = 2.2542 + 19.6 \times \frac{l_2}{\left(\frac{d_2}{4}\right)^{\frac{4}{3}}} \quad (13-3)$$

که در رابطه‌های بالا: l_1 و l_2 به ترتیب طول لوله‌ی آبگیر اول و دوم، d_1 و d_2 قطر لوله‌ی آبگیر اول و دوم می‌باشد.

۳-۶- داده‌های مورد نیاز در مطالعات طراحی مخزن:

داده‌های مورد نیاز برای طراحی حجم بهینه مخزن عبارتند از:

۳-۶-۱- نقشه‌های توپوگرافی

منحنی‌های سطح، حجم و ارتفاع، برای بررسی مشخصات هندسی مخزن و ترسیم منحنی تغییرات سطح و حجم یا ارتفاع از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس مناسب، استفاده می‌شود. منحنی‌های تغییرات سطح و حجم یا ارتفاع در واقع نمایشگر گرافیکی تغییرات حجم و سطح مخزن در مقابل رقوم (تراز) مخزن است (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳). برای استفاده از منحنی ارتفاع-حجم و غیره، از روابط زیر برای به دست آوردن حجم زیر منحنی استفاده می‌شود:

۱- فرمول دوزنقه‌ای: طبق فرمول دوزنقه‌ای حجم ذخیره بین دو خط تراز متوالی با مساحت‌های A_1 و A_2 برابر است با:

$$\Delta V_1 = \frac{h}{2} (A_1 + A_2) \quad (14-3)$$

که در رابطه بالا، h فاصله بین دو خط تراز می‌باشد.

۲- فرمول مخروط:

$$\Delta V_1 = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) \quad (15-3)$$

۳- فرمول منشوری: فقط زمانی قابل استفاده است که تعداد مساحت‌ها فرد باشد. در صورتی که این تعداد زوج بود، باید حجم کل قطعات بدون قطعه‌ی آخر حساب شود و سپس حجم این قطعه و حجم کل سایر قطعات به روش دوزنقه‌ای محاسبه شود (شمسائی، ۱۳۸۳).

$$\Delta V_1 = \frac{h}{3} (A_1 + 4A_2 + A_3) \quad (16-3)$$

حجم کل در هر سه روش برابر است با:

$$V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \dots = \sum \Delta V \quad (17-3)$$

۳-۶-۲- داده‌های هیدرولوژیکی

داده هیدرولوژیکی از مهمترین نیازهای آماری طراحی مخزن است. به گونه‌ای که بدون بهره‌گیری از این آمار طراحی دقیق مخزن، به نحوی که بتواند جوابگوی نیازهای طرح باشد، میسر نمی‌گردد. در این بین سری زمانی آمار آبدهی رودخانه یکی از مهمترین داده‌های مورد نیازهای طراحی مخزن است. به طوری که بدون در اختیار داشتن آمار آبدهی مطمئن و درازمدت، امکان طراحی دقیق مخزن میسر نخواهد بود. هم‌چنین میزان رسوب ورودی و تأثیر رسوب‌گذاری بر عمر مفید مخزن، و در نظر گرفتن حجمی از مخزن به عنوان حجم مرده از اهم مطالبی هستند که در طراحی مخزن باید به آن توجه خاص نمود. معمولاً حجم رسوبات یک دوره پنجاه ساله به عنوان حجم مرده مخزن در نظر گرفته می‌شود (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۶-۳- داده‌های هواشناسی

در بین پارامترهای هواشناسی معمولاً آمار باران و تبخیر در محل سد در طراحی حجم مخزن مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان بارندگی بر روی سطح دریاچه سد را می‌توان یکی دیگر از ورودی‌های به دریاچه محسوب نمود. بنابراین در محاسبات طراحی مخزن می‌توان آمار بارندگی ماهانه را هم‌دوره با

آمار آبدهی رودخانه به کار برد. با توجه به اینکه معمولاً میزان بارندگی در سطح دریاچه رقم عمده‌ای را تشکیل نمی‌دهد، برای سهولت مطالعات می‌توان از "میانگین درازمدت ماهانه بارندگی" در محاسبات مربوطه استفاده کرد. معمولاً تبخیر از سطح دریاچه با استفاده از آمار تشت تبخیر و اعمال ضرایب مناسب محاسبه و برآورد می‌گردد، در صورت موجود نبودن اطلاعات مربوط به تلفات تبخیر در محل سد، می‌توان از اطلاعات مربوط به تلفات تبخیر در پروژه‌های اجرا شده که دارای مشخصه‌ی مشابهی از نظر ارتفاع، اندازه و غیره با مخزن موردنظر باشد استفاده نمود. معمولاً در محاسبات بهره‌برداری از مخزن اطلاعات مربوط به تبخیر به صورت "میانگین درازمدت ماهانه" مورد استفاده قرار می‌گیرد (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۶-۴- نیازهای آبی

مقدار آبی که برای تأمین نیازهای آبی از مخزن سد رها می‌گردد باید به نحوی باشد که نیازهای آبی طرح با ضریب اطمینان بالا و در حد خطرپذیری مجاز برای آب شرب، کشاورزی، تولید برق و... تأمین گردد (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳). ریسک‌های (خطرپذیری) مجاز در تأمین آب موردنیاز اهداف مختلف طرح عبارت است از:

الف- نیاز آبی برای کشاورزی: در پروژه‌های تأمین آب کشاورزی، ذخیره‌سازی مخزن باید به نحوی صورت پذیرد که قادر به تأمین ۹۵ درصد نیازهای آبی طرح در ۷۵ درصد مواقع باشد. و این نیاز بیشتر به صورت فصلی بوده و بیشترین نیاز در فصل تابستان است (شمسائی، ۱۳۸۳).

ب- نیاز شرب: علیرغم نیاز بیشتر به آب شهری در تابستان، می‌توان آب مشروب را در طی یکسال تقریباً ثابت در نظر گرفت (شمسائی، ۱۳۸۳). در پروژه‌های تأمین آب شهری، ذخیره‌سازی مخزن بایستی جوابگوی ۱۰۰ درصد نیازهای آبی مذکور در ۹۸ درصد مواقع باشد (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

پ- **نیاز نیروگاه آبی:** نیاز آبی نیروگاه بستگی به قدرت تأمین برق آنها دارد (شمسائی، ۱۳۸۳). در پروژه‌های برقابی ذخیره‌سازی مخزن باید جوابگوی نیازهای مربوط در ۹۰ درصد مواقع باشد (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

ت- **نیازهای زیست محیطی:** یک پروژه توسعه منابع آب بر روی توازن محیط زیست اطرافش تأثیر خواهد گذارد. مستقل از گزینه‌های انتخاب شده، پروژه‌ای که کمترین اثرات منفی را بر روی محیط اطراف خود میگذارد باید شناخته شود و ترجیح داده شود (شمسائی، ۱۳۸۳). همچنین باید در برنامه رهاسازی بده‌ها از مخزن، تدابیری اتخاذ نمود که پیامدهای منفی توسعه طرح‌های منابع آب، بر مسائل زیست محیطی را به حداقل رساند، به نحوی که شرایط مناسب زیست محیطی از جمیع جهات تأمین گردد.

ج- **نیازهای کنترل سیل:** در سدهایی که کنترل سیل، به عنوان یک هدف اصلی و یا ثانویه مطرح است، برای کاهش زیان‌های وارد شده بر اراضی، تأسیسات و مستحداثات شهرها و روستاهای پایین‌دست، لزوم ذخیره‌سازی تمام و یا بخشی از جریان‌های سیلابی در دوره‌های زمانی خاص ضروری است. پیش‌بینی ذخیره سیلاب‌ها در داخل مخزن در برخی از ماه‌های سال، به عنوان نیاز کنترل سیل تلقی می‌گردد (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳). در اینگونه طرح‌ها باید بتوان مخزن را در هنگام وقوع سیل تا حد امکان خالی نگه داشت، تا بتوان آب ناشی از سیلاب را در آن ذخیره کرد. هر چند کنترل سیلاب بیشتر در فصول بارانی انجام می‌گیرد، اما به علت نیاز به خالی نگه داشتن حجم مخزن در طرح‌های مختلف کنترل سیلاب، این امر سازگار با دیگر منظوره‌های آبی که نیاز به وجود آب کافی در مخزن سد را دارند نیست (شمسائی، ۱۳۸۳).

چ- **سایر نیازها:** کشتیرانی، تفریحات سالم، ماهیان و حیات‌وحش، بهداشت و غیره (شمسائی، ۱۳۸۳).

۳-۷- محاسبات بهره‌برداری از مخزن

بهره‌برداری از مخازن سدها از موضوعات پیچیده و مهمی است که طراحان سیستم‌های منابع آب (مخازن سدها) با آن مواجه هستند. از موارد بسیار مهم در حل اینگونه مسائل، انتخاب روش صحیح مطالعات و به کارگیری تکنیک و یا تکنیک‌های مناسب و مبتنی بر استانداردهای تدوین شده مهندسی است، به طوری که با کاربرد این تکنیک‌ها، ضمن برآورد حجم مخزن، نحوه بهره‌برداری از مخزن نیز مورد مطالعه قرار می‌گیرد (نشریه ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

در مرحله بهره‌برداری گنجایش مخزن از پیش تعیین شده، و هدف اصلی، شبیه‌سازی عملکرد مخزن در طول مدت عمر سد بوده و بدین منظور با به کارگیری مدل‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی مناسب و اجرای آن به همراه قیود موردنظر، عملکرد مخزن در تأمین نیازها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این امر آن قدر ادامه می‌یابد که در تحت شرایط موردنظر، مخزن بتواند بهترین بازده را برای تأمین نیازها داشته باشد که در واقع هدف، عملکرد بهینه مخزن است. در تحت چنین شرایطی عملکرد مخزن به عنوان الگوی کار مخزن به شکل منحنی فرمان بهره‌برداری از مخزن ارائه می‌گردد. میزان نیازهای آبی برای هر یک از موارد شرب، صنعت، کشاورزی، کنترل سیل، زیست محیطی و غیره، باید به طور ماهانه تعیین و در محاسبات بهره‌برداری از مخزن به کار گرفته شود (نشریه شماره ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۸- روش‌های محاسبات بهره‌برداری متداول

روش‌هایی که برای تعیین حجم مخزن توصیه می‌گردد، عبارتند از: روش‌های مهندسی سیستم (در این روش بهینه‌سازی عمده‌ترین کاربرد را دارا می‌باشد) و روش شبیه‌سازی. که در ادامه این دو روش شرح داده شده است.

۳-۸-۱- روش مهندسی سیستم‌ها

مهندسی سیستم‌ها علمی است که با بهره‌گیری از تکنیک‌های موجود در آن می‌توان بهترین گزینه را از میان تعداد بیشماری از گزینه‌های ممکن و رقیب با توجه به تابع هدف مشخص و با در نظر گرفتن جمیع محدودیت‌ها انتخاب نمود. در روش بهینه‌سازی با بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی مناسب می‌توان اقدام به محاسبه و برآورد پارامترهای طراحی از جمله ارتفاع سد نمود و هم‌چنین عملکرد تقریبی مخزن را با توجه به ارتفاع نظیر سد مورد ارزیابی قرار داد. در مورد مخازن سدهایی که داری گزینه‌های پیشنهادی مختلفی هستند، می‌توان با استفاده از مدل‌های مناسب گزینه‌های نامطلوب را شناسایی و یا حذف نمود و با حذف آنها بهترین گزینه را انتخاب کرد (نشریه شماره ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۸-۲- روش شبیه‌سازی

روش شبیه‌سازی به دلیل برخورداری از منطق ریاضی ساده و قابل درک، قابلیت چشمگیر و سریع در پیش‌بینی و ارزیابی نحوه عملکرد سیستم و انتخاب گزینه‌ها، یک روش بسیار متداول محسوب می‌گردد. روش شبیه‌سازی را نمی‌توان به عنوان یک روش بهینه‌سازی محسوب نمود، بلکه بهترین روشی است که به وسیله آن نحوه عملکرد یک سیستم را از نظر سیاست‌های بهره‌برداری می‌توان مورد بررسی و مطالعه دقیق قرار داد. شبیه‌سازی می‌تواند بر اساس آمار و اطلاعات مشاهداتی (تاریخی) صورت پذیرد که در این صورت آن را (روش قطعی) می‌نامند و یا بر اساس آمار و اطلاعات احتمالی انجام گیرد که در این حالت بدان (شیوه آماری) گفته می‌شود.

شبیه‌سازی در مخازن معمولاً بر اساس فواصل زمانی ماهانه و به منظور بررسی و مطالعه شرایط مختلف بهره‌برداری از سیستم با توجه به احجام مخازن، جریانات ورودی، نیازها و غیره صورت می‌گیرد (نشریه شماره ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

اساس طراحی حجم مخزن در این روش مبتنی بر استفاده از رابطه توازن حجمی در محل مخزن است که بر طبق معادله زیر ارائه می‌گردد:

$$S_{(t+1)} = S_{(t)} + I_{(t)} + P_{(t)} - O_{(t)} - E_{(t)} - SP_{(t)} - I_S \quad (18 - 3)$$

که در این رابطه:

$S_{(t+1)}$, $S_{(t)}$ = حجم مخزن در ابتدا و انتهای دوره به میلیون مترمکعب، $I_{(t)}$ = ورودی به مخزن در طول دوره t ، $P_{(t)}$ = بارش مستقیم بر روی مخزن در طول دوره t ، $O_{(t)}$ = خروجی از مخزن در طول دوره t ، $E_{(t)}$ = تبخیر از مخزن در طول دوره t ، $SP_{(t)}$ = سرریز از مخزن در طول دوره t ، I_S = تلفات نفوذ در مخزن، می باشد (نشریه شماره ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۸-۲-۱- محاسبات شبیه سازی

اصولا بهره گیری از مدل های ریاضی پایه، اساس مطالعات بهینه سازی را تشکیل می دهد. تکنیک بهینه سازی هر چند ابزار بسیار مناسب و با ارزشی برای برآورد سریع و قریب به بهینه پارامترهای طراحی (حجم مخزن) هستند، ولی هیچ یک به تنهایی قادر به ارائه شاخص های گزینش طرح نخواهند بود. به عبارت دیگر، نمی توان تنها بر اساس مطالعات بهینه سازی ارزیابی دقیق از نحوه عملکرد سیستم به عمل آورد. به همین جهت علاوه بر به کارگیری روش بهینه سازی باید از روش شبیه سازی برای طراحی دقیق مخزن و تأمین آب مورد نیاز اهداف مختلف طرح با در نظر گرفتن شاخص های گزینش طرح که توسط مدل شبیه سازی تولید می گردد، استفاده نمود. اهم گزینش شاخص های طرح عبارتند از: متوسط کمبود درازمدت هر یک از نیازها، حجم آب قابل تنظیم سالانه، بازده ذخیره سازی مخزن، میزان سرریز سالانه، میزان تلفات تبخیر، سود خالص حاصله ناشی از اجرای طرح (اقتصاد طرح) می باشد.

ارزیابی اقتصادی گزینه ها یکی از مهمترین شاخص های تصمیم گیری برای تعیین گزینه نهایی محسوب می گردد (نشریه شماره ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳). و در پروسه برنامه ریزی باید تمام گزینه های ممکن با در نظر گرفتن تمام جوانب و استفاده از آب ارزشیابی شوند و اگر از نظر اقتصادی نیز مثبت باشد آنگاه برای اجرا نیز انتخاب می شود (شمسائی، ۱۳۸۳).

۳-۹- نتایج مطالعات بهره‌برداری مخزن

نتایج مطالعات بهره‌برداری مخزن، برای تعیین ظرفیت مورد نیاز (مخزن) با بهره‌گیری از روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی انجام می‌گیرد و حاصل آن مشخص شدن ظرفیت مخزن به همراه دستورالعمل‌های بهره‌برداری (ارائه منحنی فرمان) است که برای بهره‌برداری از مخزن باید مورد استفاده قرار گیرد (نشریه شماره ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

۳-۱۰- منحنی‌های فرمان

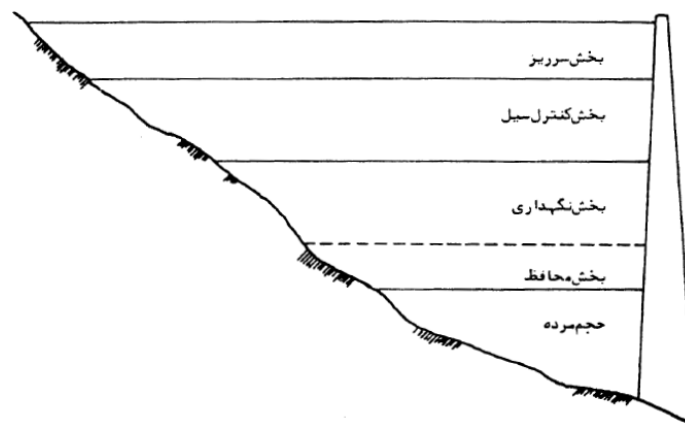
مشخصه‌های منحنی فرمان در یک مخزن عبارت است از حجم آب تخصیص یافته مخزن در یک زمان مشخص برای تأمین نیازهای آبی مشخص و اولویت معین. منحنی‌های فرمان اغلب به صورت ماهانه طراحی می‌گردند. منحنی‌های فرمان معرف سیاست‌هایی است که در بهره‌برداری از یک مخزن با توجه به شرایط و وضعیت موجود سیستم و تغییرات فصلی و ماهانه جریان‌ات ورودی به مخزن اعمال می‌گردد. هم‌چنین نشان‌دهنده تغییرات تراز مخزن در زمان‌های مختلف بهره‌برداری در طول یک دوره زمانی مشخص است (نشریه شماره ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

به طور کلی تهیه منحنی‌های فرمان برای مخازن یک منظوره ساده است ولی در سدهای چندمنظوره، از آنجا که تأمین نیازهای مختلف معمولاً با یکدیگر در تضادند، مسأله پیچیده‌تر است. و اگر نیازهای آبی مختلف با یکدیگر سازگار و همسو باشند آب ذخیره شده به‌صورت موثرتری مصرف می‌گردند (شمسائی، ۱۳۸۳).

۳-۱۰-۱- اصول تهیه منحنی فرمان برای مخازن چند منظوره

بهره‌برداری از مخازن چندمنظوره به نحوی است که از آب ذخیره شده در مخزن به منظور تأمین اهداف مختلف و با اولویت‌های معینی استفاده می‌گردد. همانطور که در شکل (۳-۳) مشخص است، به طور کلی مخزن به پنج بخش مختلف تقسیم می‌گردد که هر یک از آنها نقش عمده‌ای در عملیات

بهره‌برداری دارند. بخش‌های مختلف مخزن عبارتند از: **بخش سرریز** (بخش فوقانی حجم مربوط به کنترل سیل را بخش سرریز می‌نامند. این فضا عمدتاً در حین سیلاب‌های شدید پر می‌شود)، **بخش کنترل سیل** (این بخش از مخزن به منظور نگهداری موقت سیل‌های شدید و کاهش خسارت‌های ناشی از سیل در پایین‌دست مخزن است. این بخش باید سریعاً تخلیه گردد تا فضای مناسب برای نگهداری و جذب سیلاب‌های بعدی میسر گردد)، **بخش نگهداری** (که این بخش برای نگهداری آب و تأمین نیازهای مختلف مخزن است)، **بخش محافظ** (بخش فوقانی حجم مرده مخزن نامیده می‌شود که فقط در شرایط بسیار ضروری از آب آن استفاده می‌گردد)، **بخش حجم مرده** (این بخش پایین‌ترین قسمت مخزن است و به منظور نگهداری رسوبات که به داخل مخزن وارد می‌گردد تعبیه می‌شود).



شکل (۳-۳) نمایش بخش‌های مختلف ذخیره مخازن چندمنظوره (نشریه شماره ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳).

به طور کلی زمانی که ظرفیت‌های مشخصی برای مصارف مختلف از جمله کنترل سیل تخصیص داده می‌شود، برنامه بهره‌برداری معمولاً کمتر با مشکل خاصی مواجه خواهد شد زیرا بهره‌برداری برای یک مصرف خاص معمولاً مستقل است و بر اساس برنامه مخازن تک منظوره و متناسب با اهداف آنها خواهد بود. در مخازن چند منظوره‌ای که هدف کنترل سیل به عنوان هدف اصلی در کنار سایر اهداف باشد، برنامه عملیات بهره‌برداری بر اساس دو روش زیر صورت خواهد گرفت:

الف- تخصیص دایمی ظرفیت برای ذخیره سیل

در روش کنترل سیل توسط بخش دائمی، قسمت بالای مخزن برای ذخیره آب تخصیص داده می‌شود و فقط در زمان سیلاب این قسمت از حجم مخزن پر می‌گردد.

ب- تخصیص فصلی برای ذخیره سیل

در روش کنترل سیل توسط روش فصلی، قسمتی از حجم مخزن در فصل سیلابی خالی نگه داشته می‌شود تا این فضا توسط حجم آب ناشی از سیل پر شود. از آنجایی که باید تا انتهای فصل بارانی حجم مخزن پر شود تا ذخیره آبی به حد کافی وجود داشته باشد، لذا همیشه این نگرانی وجود دارد که در صورت عدم وقوع سیلاب این بخش از فضای مخزن که خالی مانده پر نشود (شمسائی، ۱۳۸۳). که در نهایت پس از بررسی و شناخت تمامی جوانب طراحی و بهره‌برداری و همچنین بررسی تمام نیازهای پایین‌دست، اقدام به تعیین حجم بهینه‌ی مخزن می‌شود. چون در این تحقیق از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک استفاده شده است، در ادامه درباره الگوریتم ژنتیک بحث خواهد شد.

۳-۱۱- الگوریتم ژنتیک

محاسبات تکاملی (EC) بر مبنای تکامل زیستی و طبیعی موجود در طبیعت بنا شده است. طبق تئوری تکامل داروین همه‌ی موجودات زنده با هم مرتبط بوده و زاده یک دنیای مشترک هستند. این نظریه فرض می‌کند که تکامل و پیشرفت زندگی در نتیجه تغییر و تحول طبیعی ایجاد شده است. در واقع همه‌ی موجودات پیچیده در طول زمان و در نتیجه رشد و نمو اجداد بسیار ساده خود به وجود آمده‌اند. به صورت مختصر می‌توان گفت یک جهش تصادفی در ژن به منظور بقا سودمند واقع شده و این سودمندی به نسل‌های بعد گذر داده می‌شود، با گذشت زمان این جهش‌های سودمند ادامه پیدا کرده و انباشته می‌شوند و در نتیجه ارگانیسم‌های متفاوت به وجود می‌آیند. نظریه داروین در تکامل یک نظریه جوان در تاریخ بشر می‌باشد. اما نگاه بشر به روند تکامل یک نگاه قدیمی است. در واقع چارلز

داروین یک نگاه تازه به نظریه فلاسفه قدیمی اضافه کرده و آن یک مکانیسم معقول تحت عنوان "انتخاب طبیعی" است. انتخاب طبیعی باعث حفظ اثرات مطلوب جهش‌های خرد و کوچک می‌شود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). در نهایت می‌توان نظریه داروین را در نکات زیر خلاصه نمود:

- ۱- تغییر: در هر گونه‌ی جمعیتی تغییر وجود دارد.
- ۲- رقابت: ارگانیسم‌ها برای منابع محدود موجود رقابت می‌کنند.
- ۳- ژنتیک: ارگانیسم‌ها ویژگی‌های ژنتیک خود را به نوادگان خود انتقال می‌دهند.
- ۴- انتخاب طبیعی: ارگانیسم‌هایی که رفتارهای مفید بیشتری دارند شانس بیشتری برای تولید مثل و بقا پیدا می‌کنند.

مدل‌های محاسبات تکاملی متنوعی وجود دارند که در مطالعات و تحقیقات از آنها تحت عنوان الگوریتم‌های تکاملی یاد می‌شوند. در این الگوریتم‌ها از روند تکامل طبیعی در موجودات زنده تقلید می‌شود. از آنجا که رفتار این الگوریتم‌ها از طبیعت الهام گرفته شده از آنها تحت عنوان الگوریتم‌های تکاملی یاد می‌شود. زیرا "تکامل"، نیروی غالب طبیعی است که یک جمعیت اولیه از گونه‌ها را به سمت گونه‌های تکامل یافته و پیشرفته پیش می‌برد.

عموماً اصطلاح محاسبات تکاملی یا الگوریتم‌های تکاملی در ارتباط با دامنه‌ی گسترده‌ای از روش‌های تکاملی مثل الگوریتم‌های ژنتیک (GA)، استراتژی‌های تکاملی، برنامه‌نویسی تکاملی و برنامه‌نویسی ژنتیک به کار می‌رود. الگوریتم‌های تکاملی دارای اجزا و عملگرهایی می‌باشند. مهمترین اجزای الگوریتم‌های تکاملی که الگوریتم ژنتیک نیز جزو آن می‌باشد عبارتند از: ساختار هر فرد، تابع ارزیابی، جمعیت، مکانیسم انتخاب والدین، عملگرهای مختلف ترکیب و جهش، مکانیسم ابقا^{۳۹} (جایگزینی)، همچنین شرایط پایان الگوریتم و رویه‌ی تعیین جمعیت آغازین نیز باید تعیین گردد.

³⁹ Survivor Selection Mechanism

کارایی فرایندهای یک الگوریتم تکاملی، به کارایی ساختارهای افراد جمعیت که توسط محیط تعریف می‌شوند، بستگی دارند. در واقع الگوریتم‌های تکاملی یک ساختار جمعیتی ایجاد کرده و بر اساس قوانینی مثل انتخاب و ترکیب و جهش آنها را نمو می‌دهند. به هر فرد در جمعیت با توجه به محیط اطراف یک مقدار شایستگی نسبت داده می‌شود و عملیات انتخاب با توجه به میزان شایستگی افراد انجام می‌شود. اگر چه این روش از دیدگاه زیستی بسیار ساده به نظر می‌آید اما این الگوریتم یک مکانیسم جستجوی انطباقی بسیار قدرتمند و کارا می‌باشد.

GA، اولین بار توسط جان هالند^{۴۰} و دانشجویان او در دانشگاه میشیگان ابداع شد و توسعه یافت. هدف اصلی این تیم خلق یک الگوریتم جدید نبود، بلکه آنها به دنبال تشخیص دقیق نحوه وقوع تطابق در طبیعت و توسعه‌ی راهی برای استفاده از روند انطباق طبیعی در سیستم‌های کامپیوتری بودند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

امروزه الگوریتم ژنتیک شناخته‌شده‌ترین نوع الگوریتم تکاملی در این بین می‌باشد (باوی و صالحی، ۱۳۸۷). در واقع الگوریتم ژنتیک سرآمد روش‌های تکاملی می‌باشد. و هر برنامه‌ای که بر مبنای نظریه داروین باشد را می‌توان بر الگوریتم ژنتیک بنا نمود. ساختار الگوریتم ژنتیک حداقل باید دارای یک عضو در جمعیت اولیه خود باشد. این عضو وظیفه‌ی تولید یک جمعیت تازه و نمو آن را برای برآورده ساختن شرط پایانی، بر عهده دارد. علاوه بر آن الگوریتم ژنتیک باید استراتژی جایگزینی را تعیین نماید. در واقع عواملی نظیر شرط پایانی، جایگزینی، نمو دهنده، آغاز کننده و چاپ کننده را می‌توان به عنوان عواملی دخیل در نحوه‌ی عملکرد الگوریتم‌های ژنتیک برشمرد (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). در ادامه هریک از عوامل یاد شده را توصیف می‌کنیم.

⁴⁰ Holland john

۳-۱۱-۱- عملگرهای الگوریتم ژنتیک

- آغاز کننده یک الگوریتم ژنتیک: این عامل وظیفه‌ی تعریف و مقداردهی آغازین به جمعیت اولیه و پارامترهای اولیه را به عهده دارد.
- پایان دهنده به الگوریتم ژنتیک: عامل پایان دهنده زمانی که شرط خاتمه الگوریتم برآورده می‌شود، در مورد خاتمه الگوریتم تصمیم‌گیری می‌کند.
- عامل جایگزینی در الگوریتم ژنتیک: این عامل در مورد باقی ماندن هر یک از والدین یا فرزندان در جمعیت بعدی تصمیم‌گیری می‌کند.
- عامل نمو دهنده در الگوریتم ژنتیک: این عامل قلب و هسته اصلی هر برنامه داروینی را تشکیل می‌دهد. این عامل مسئولیت نمو جمعیت را در راستای برآورده ساختن شرط پایانی به عهده دارد.
- نمایشگر الگوریتم ژنتیک: این عامل شکل خروجی الگوریتم ژنتیک را معین می‌کند. این عامل پس از آنکه شرط خاتمه الگوریتم برآورده شد، کار خود را شروع می‌کند (مصطفی کیا، ۱۳۹۱).
- از آنجا که مبنای الگوریتم ژنتیک کپی برداری شده از طبیعت است، لذا فهرست واژه‌هایی که در این زمینه استفاده می‌شود، نزدیک به اصطلاحاتی است که در علم زیست‌شناسی استفاده می‌شود. در جدول (۳-۳) برخی از اصطلاحاتی که دارای کاربرد زیادی در متون مربوط به الگوریتم ژنتیک هستند، اشاره شده است (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳).

جدول (۳-۳) فهرست واژه‌های معمول در الگوریتم ژنتیک (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳)

اصطلاح	توصیف معادل در الگوریتم ژنتیک
کروموزوم (Chromosome)	یک رشته کدگذاری شده از متغیرها (دودویی، حقیقی و غیره)
ژن (Gene)	نسخه کد گذاری شده یک متغیر
برازش (Fitness)	مقداری که نمایشگر کیفیت یک کروموزوم در مجموعه‌ای از جواب‌های مسئله است
جمعیت (Population)	یک مجموعه از کروموزوم‌های مقادیر آماری مربوطه
انتخاب (Selection)	عملگری برای انتخاب یک کروموزوم از جمعیت، به عنوان والد به منظور بازتولید
تزیوج (Crossover)	عملگری که ژنوتیپ دو والد انتخاب شده را به منظور تولید فرزندان جدید ادغام می‌کند
جهش (Mutation)	عملگری که به طور تصادفی، یک یا چند ژن را تغییر می‌دهد

۳-۱۱-۲- ارائه ساختار مناسب برای هر فرد

این ساختار نحوه‌ی نمایش، رفتار و کیفیت فیزیکی هریک از افراد را مشخص می‌کند. بسته به طبیعت مسئله از الگوریتم‌های با ساختار پیوسته یا از الگوریتم‌های با ساختار دودویی استفاده می‌شود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

۳-۱۱-۳- انتخاب متغیرهای تصمیم

اولین قدم در بهینه‌سازی، انتخاب متغیرهای تصمیم می‌باشد، که در روش الگوریتم ژنتیک متغیرهای تصمیم برای دو روش سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل به روش‌های زیر تعیین می‌شوند:

۳-۱۱-۳-۱- انتخاب متغیرهای تصمیم و حدود آنها برای روش سازه‌ای

همانطور که در بخش (۳-۳-۱) عنوان شد، متغیرهای تصمیم برای این روش، عبارتند از ابعاد لوله‌های تخلیه‌کننده تحتانی و رقوم کف کانال در انتهای کانال. در نتیجه تعداد متغیرهای مسئله ۳ متغیر می‌باشد، و به شکل بردار زیر نمایش داده می‌شود:

$$X_{(i)} = [D_1 \quad D_2 \quad EL_{\text{kanal}(190)}] \quad \text{و} \quad i = 1 \dots n_{\text{Pop}} \quad (19 - 3)$$

که در این بردار X یک کروموزوم از جمعیت که دارای ۳ ژن (متغیر) می‌باشد. D_1 = ژن مربوط به قطر لوله‌ی آبگیر اول، D_2 = ژن مربوط به قطر لوله‌ی آبگیر دوم، $EL_{\text{kanal}(190)}$ = رقوم کف انتهای کانال.

حدود متغیرهای این روش به شرح زیر می‌باشد:

- حدود بالای ساخت لوله‌های فولادی در بازار ۲۵۰۰ میلیمتر می‌باشد و این مقدار به عنوان حداکثر قطر انتخاب می‌شود.

- با توجه به اینکه حداکثر عمق آب مجاز در کانال‌های انتقال آب ۴ متر می‌باشد (بیرامی، ۱۳۹۱) حد بالا و پایین کف کانال ابتدا و انتها را می‌توان ± 10 در نظر گرفت.

۳-۱۱-۲-انتخاب متغیرهای تصمیم و حدود آنها برای روش غیرسازهای

همانطور که در بخش (۲-۳-۳) عنوان گردید، متغیرهای تصمیم در این نوع بهینه‌سازی، خروجی‌های سد به تعداد ماه‌های بهره‌برداری می‌باشد. با توجه به اینکه در این نوع بهینه‌سازی متغیرها از یک نوع می‌باشند (مقدار خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی برای یک ماه)، حدود متغیرها را بین صفر تا حداکثر نیاز پایین‌دست تعریف می‌کنیم.

۳-۱۱-۴-تابع شایستگی یا تابع ارزیابی

تابع شایستگی نوع خاصی از تابع هدف^{۴۱} می‌باشد، که در الگوریتم‌های تکاملی کیفیت بهینه‌سازی را برای یک راه‌حل اندازه‌گیری می‌کند. یک راه‌حل در این الگوریتم‌ها، در قالب یک کروموزوم، بیان می‌شود. به کمک تابع شایستگی یک کروموزوم با بقیه کروموزوم‌ها مقایسه می‌گردد. کروموزوم‌های بهینه یا حداقل کروموزوم‌هایی که بهینگی بیشتری دارند، فرصت می‌یابند تا از طریق تکنیک‌های مختلف با هم ترکیب شده و نسل جدید و بهتری ایجاد نمایند. در واقع تابع شایستگی یک معیار مناسب برای انتخاب کروموزوم‌ها ایجاد می‌کند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

۳-۱۱-۵-جمعیت آغازین^{۴۲}

روند بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک با تولید گروهی از کروموزوم‌ها (به اندازه nPop که کاربر تعیین می‌کند) که جمعیت نام دارد، آغاز می‌شود (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳). پس از تولید جمعیت کروموزوم‌ها، هزینه هر کروموزوم با استفاده از تابع شایستگی محاسبه می‌شود. و سپس کروموزوم‌های مطلوب، برای اجرای عملگرهای ترکیب و جهش باید انتخاب شوند. در نهایت پس از اعمال عملگرهای ترکیب و جهش، اگر معیار توقف برآورده شده باشد، چرخه به پایان می‌رسد و نتایج

^{۴۱} Objective Function

^{۴۲} Initial Population

ارائه می‌شود. ولی اگر معیار برآورده نشده باشد، این چرخه از مرحله دوم یعنی انتخاب به بعد تکرار می‌شود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

نکته قابل توجه این است که در این مسئله و مسائل مشابه که دارای تعداد متغیرهای تصمیم زیادی هستند، بدون استفاده از مقادیر اولیه (جمعیت کروموزومی) مناسب، مدل همگرا نخواهد شد (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳).

در بهینه‌سازی سیستم کنترل سیل به روش سازه‌ای، برای تولید اعداد تصادفی، ابتدا در یک تابع جداگانه به اندازه تعداد جمعیت با استفاد از تابع rand متلب، اعداد تصادفی حقیقی بین صفر و یک تولید کرده (رابطه ۳-۲۰) و سپس در تابع هزینه این اعداد بین صفر و یک، به متغیرهای مسئله تبدیل می‌شوند. برای بهینه‌سازی غیرسازه‌ای نیز از همین روش استفاده می‌شود.

$$\text{xhat} = \text{rand}(1, n\text{Var}) \quad (20)$$

$$- 3)$$

که در رابطه فوق: Xhat = عدد تصادفی بین صفر و یک، $n\text{Var}$ = تعداد متغیرها مسئله می‌باشد.

برای تبدیل اعداد تولیدی خام (اعداد تصادفی بین صفر و یک) به اعدادی که در حدود متغیرهای مسئله هستند، از رابطه زیر استفاده می‌شود (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳):

$$X = (X_{up} - X_{low}) \times \text{Xhat} + X_{low} \quad (21 - 3)$$

که در رابطه فوق: X = عددی که از روی متغیرهای خام به متغیری که در فضای حدود متغیرهاست تبدیل می‌شود، X_{up} و X_{low} = حد بالا و پایین هر متغیر، Xhat = عدد تصادفی تولید شده بین صفر و یک می‌باشد.

۳-۱۱-۶- انتخاب

روال انتخاب تعیین می‌کند که کدام یک از افراد برای ترکیب تعیین گردند و هر کدام از آنها چند فرزند تولید نمایند. گام اول در این راه تخصیص شایستگی به افراد حاضر در جمعیت می‌باشد. هر یک

از افراد در راستای تولید مثل، یک احتمال تولید مثل، با توجه به مقدار تابع هدف دریافت می‌کنند. از این مقدار برای انجام انتخاب در گام بعدی استفاده می‌شود. پس از انجام روال رتبه‌بندی، نوبت به انتخاب نهایی می‌رسد. در این مرحله والدین با توجه به مقدار شایستگی‌شان انتخاب می‌شود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

پس از تولید پاسخ‌های تصادفی و محاسبه هزینه هر پاسخ، برای رسیدن به بهینه‌سراسری باید عملگرهای ترکیب و جهش فرزندان تولید کنند، که احتمال داده می‌شود جوابی بهتر از والدین داشته باشند. برای انجام عمل ترکیب باید والدین دو به دو انتخاب شوند. در این تحقیق، کد نویسی الگوریتم ژنتیک به نحوی نوشته شده است که در ابتدای اجرای برنامه، از کاربر سوال می‌شود که برای انتخاب دو والد برای انجام ترکیب، از بین سه روش (انتخاب به روش چرخه رولت‌ویل، انتخاب تصادفی و انتخاب رقابتی) با کدام روش قصد ادامه روند الگوریتم را دارد. دلیل این کار برای بررسی تاثیر انتخاب هر روش در نتیجه و روند بهینه‌سازی می‌باشد.

روش‌های مختلفی برای انتخاب والدین در الگوریتم ژنتیک وجود دارد که به چند مورد اشاره می‌شود:

۳-۱۱-۶-۱-انتخاب طبیعی

در الگوریتم ژنتیک، "بقای بهترین کروموزوم"^{۴۳} اساس بهینه‌سازی را تشکیل می‌دهد. برای این منظور ابتدا تعداد N_{pop} هزینه (معادل با تعداد کروموزوم‌ها) به ترتیب از کمترین هزینه به بیشترین هزینه مرتب می‌شوند. سپس بهترین کروموزوم‌ها برای ادامه فرآیند تکامل، انتخاب و بقیه حذف می‌شوند. نرخ انتخاب، X_{rate} ، کسری از N_{pop} است که برابر تعداد کروموزوم‌هایی است که برای مرحله بعدی (تزیوج) بایستی انتخاب شوند. تعداد کروموزوم‌هایی که در هر نسل نگاه داشته می‌شوند (N_{keep}) برابر با رابطه (۳-۲۲) می‌باشد (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳: ۳۷).

⁴³ Survival of the Fittest

$$N_{\text{keep}} = X_{\text{rate}} \times N_{\text{pop}}$$

(22 – 3)

۳-۱۱-۶-۲-انتخاب چرخه رولت ویل^{۴۴}

در انتخاب به روش چرخه رولت ویل، ابتدا به هر کروموزوم یک احتمال انتخاب نسبت داده می شود (کروموزومی که دارای کمترین هزینه باشد، دارای بیشترین احتمال انتخاب می باشد) و احتمال تجمعی کروموزوم ها نیز محاسبه می شود. سپس هم برای والد اول و هم برای والد دوم یک عدد تصادفی تولید می شود و برای هر دو والد، اولین کروموزومی که احتمال انتخابش بیشتر از عدد تصادفی تولید شده باشد، آن کروموزوم به عنوان والد انتخابی، معرفی می شود (دو والد انتخاب می شوند).

۳-۱۱-۶-۳-انتخاب مسابقه ای یا رقابتی^{۴۵}

رهیافت دیگری که از انتخاب رقابتی در طبیعت تقلید می نماید، شامل انتخاب یک زیرمجموعه کوچک (دو یا سه عضو) از مجموعه کروموزوم ها (به این تعداد کروموزوم، تعداد بازیکنان مسابقه یا به اختصار تعداد بازیکنان گفته می شود^{۴۶}) و سپس انتخاب کروموزومی با کمترین هزینه در بین کروموزوم های این زیرمجموعه به عنوان والد است. این روش برای هر تعداد والدینی که مورد نظر باشد، تکرار می شود (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳). تکنیک مسابقه ای از لحاظ زمان مصرفی برای اجرا وضعیت بسیار بهتری داشته و در پیاده سازی روش های تکاملی موازی دارای کاربرد زیادی می باشد (مصطفی کیا، ۱۳۹۱).

⁴⁴ Weighted Random Selection

⁴⁵ Tournament Selection

⁴⁶ Tournament Size

۳-۱۱-۷- ترکیب یا تزویج^{۴۷}

عملگر تزویج (یا ترکیب) امکان ترکیب مشخصات دو کروموزوم را برای تولید جواب‌های جدید فراهم می‌کند. برای این منظور، دو کروموزوم از مجموعه والدین به کمک احتمال (نرخ) تزویج، برای تغییر و لذا تولید فرزندان انتخاب می‌شوند. بر اساس مقدار احتمال تزویج تعریف شده، برای هر کروموزوم در نسل جدید، یک عدد تصادفی r در دامنه $[0, 1]$ تولید و اگر این عدد تصادفی کمتر از احتمال تزویج باشد، کروموزوم موردنظر برای عمل تزویج انتخاب می‌شود. تزویج کروموزوم‌ها تا زمانی انجام می‌گیرد که تعداد N_{keep} فرزند از کروموزوم‌های والد انتخاب شده، تولید شود. تزویج کروموزوم‌ها در الگوریتم ژنتیک، همانند لقاح در گونه‌های مختلف جانداران، جالب و متنوع است. عمل تزویج منجر به تولید یک یا بیشتر فرزند از والدینی که در مرحله انتخاب برای این منظور گزینش شده‌اند، می‌شود (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳: ۴۵). با توجه به ساختار افراد نوع روش ترکیبی مشخص می‌شود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

۳-۱۱-۷-۱- ترکیب مقادیر دودویی (تلفیق)

انجام ترکیب برای مقادیر دودویی، با استفاده از یکی از روش‌های تک نقطه، دو نقطه، چند نقطه و تلفیق یکنواخت انجام می‌شود. که روش‌های تلفیق یک نقطه و دونقطه نوع خاصی از روش کلی تلفیق چندگانه هستند. در تلفیق چندگانه m نقطه‌ی تلفیقی k_i ($i=1, 2, \dots, m$) به صورت تصادفی و بدون تکرار تعیین شده و به صورت صعودی مرتب می‌شوند. سپس متغیرهای بین هر دو نقطه‌ی تلفیقی یکی در میان بین دو والد جابه‌جا می‌شوند تا به این ترتیب دو فرزند جدید تولید شوند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). در شکل (۳-۴) نحوه‌ی اعمال ترکیب یک نقطه نشان داده شده است.

⁴⁷ Recombination Methods



شکل (۳-۴) نمایش نحوه اعمال ترکیب یک نقطه (هالند^{۴۸}، ۱۹۹۲).

در روش تلفیق یکنواخت از یک ساختار مشابه با افراد تحت عنوان ماسک استفاده می‌شود. مقادیر ماسک به صورت تصادفی تعیین می‌شوند و از آنها برای تعیین نحوه‌ی مشارکت والدین در تولید فرزندان استفاده می‌گردد (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). در شرایطی که ژن‌ها با خصوصیات مناسب در طول رشته پراکنده شده باشند، استفاده از تزویج یکنواخت می‌تواند مفیدتر از سایر روش‌های تزویج باشد (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳). برای تولید فرزندان، در صورتی که مقدار یک بیت از ماسک برابر ۱ باشد مقدار بیت متناظر آن در فرزند، از فرد اول و در صورتی که صفر باشد از فرد دوم گرفته می‌شود. در جدول (۳-۴) برای روشن شدن نحوه‌ی عملکرد این روش، نحوه‌ی اعمال ترکیب برای دو والد که هریک دارای ۱۱ ژن یا متغیر می‌باشند، نشان داده شده است.

جدول (۳-۴) نحوه اعمال تلفیق یکنواخت بر روی والدین برای تولید فرزند

شماره والد یا فرزند	والد	ماسک	فرزند
۱	01110011010	01100011010	11101111111
۲	10101100101	10011100101	00110000000

⁴⁸ Holland

۳-۱۱-۷-۲- ترکیب گسسته

در روش ترکیب گسسته مقادیر متغیرها بین افراد مبادله می‌شوند. والدینی که برای تعیین هر یک از مقادیر فرزندان مشارکت می‌کنند، به صورت تصادفی و از طریق تساوی احتمالی زیر تعیین می‌شوند:

$$\text{Var}_i^0 = \text{Var}_i^{P_1} \times a_i + \text{Var}_i^{P_2} \times (1-a_i) \quad i \in (1, 2, \dots, N_{\text{var}}), \quad a_i \in \{0, 1\} \quad (23-3)$$

a_i به صورت تصادفی برای هر i تعیین می‌گردد (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

۳-۱۱-۷-۳- ترکیب مقادیر حقیقی

یک نوع از روش‌هایی که برای ترکیب والدین با مقادیر حقیقی مورد استفاده قرار می‌گیرد روش "ترکیب میانی" می‌باشد.

که در این روش مقادیر مربوط به فرزندان از بین مقادیر والدین انتخاب می‌شوند. قاعده‌ی تولید فرزندان به صورت زیر است:

$$\text{Var}_i^0 = \text{Var}_i^{P_1} * a_i + \text{Var}_i^{P_2} * (1-a_i) \quad i \in (1, 2, \dots, N_{\text{var}}), \quad a_i \in [-d, 1+d], \quad d=0.25 \quad (24-3)$$

که در این رابطه: Var_i^0 : فرزند i ام جمعیت و Var_i^P : والد i ام جمعیت می‌باشد.

a_i به صورت تصادفی از بازه‌ی مربوطه انتخاب می‌شود و مقدار d اندازه‌ی محدوده‌ی ممکن برای فرزندان را مشخص می‌کند. در صورتی که مقدار d را برابر صفر قرار دهیم، فرزندان در محدوده مشابه با والدین خود قرار خواهند گرفت. اگر $d=0$ قرار دهیم روش ترکیبی مورد استفاده، "روش ترکیب میانی استاندارد" نامیده می‌شود. از آنجا که فرزندان تولید شده به این روش تمایل بیشتری به مرکز بازه دارند، محدوده‌ی مربوط به متغیرها نسل به نسل کوچکتر می‌شود. این یک خصوصیت نامطلوب روش ترکیبی میانی استاندارد است که می‌توان با انتخاب مقادیر بزرگتر d ، این نقصه را جبران نمود. اگر مقدار $d=0.25$ قرار دهیم به لحاظ آماری اثبات می‌شود که محدوده‌ی متغیرهای فرزندان مشابه با

محدوده‌ی والدین خواهد بود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). به عنوان مثالی در این زمینه در جدول (۳-۵) نتیجه‌ی اعمال ترکیب حقیقی برای دو والد که هر یک دارای ۳ متغیر می‌باشند نشان داده شده است.

جدول (۳-۵) نحوه اعمال ترکیب حقیقی بر روی والدین برای تولید فرزند

شماره والد یا فرزند	والد	ماسک (مقادیر تصادفی)	فرزند
۱	[12, 25, 5]	[0.5, 1.1, -0.1]	[67.5, 1.9, 2.1]
۲	[123, 4, 34]	[0.1, 0.8, 0.5]	[23.1, 8.2, 19.5]

۳-۱۱-۸- جهش

پس از انجام عملیات ترکیب نوبت به جهش می‌رسد (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). اعمال جهش به هنگام حرکت از جمعیت حاضر به جمعیت جدید باعث می‌شود که میزان تنوع در جمعیت جدید بالا رود و این تنوع اساس تکامل و پیشرفت در رسیدن به جواب نهایی است (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳).

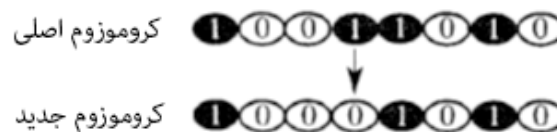
در جهش، افراد به صورت تصادفی دچار تغییر می‌شوند. این تغییرات که تحت عنوان گام‌های جهش شناخته می‌شوند بسیار ناچیز هستند. این تغییرات با احتمال کمی تحت عنوان احتمال جهش یا سرعت جهش بر روی متغیرها اعمال می‌شوند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). اعمال عملگرهایی نظیر جهش تضمین می‌کند که الگوریتم ژنتیک به جواب بهینه عمومی یا جواب‌های نزدیک به آن برسد. زیرا با اعمال این عملگر، نقاط اطراف کروموزوم‌های جمعیت نیز در مجموعه فضای جستجو قرار خواهند گرفت و در واقع یک جستجوی همسایگی انجام گرفته و فضای جستجو را برای رسیدن به بهینه مطلق توسعه می‌دهد. مقدار احتمال جهش معمولاً بسیار کمتر از یک انتخاب می‌شود، زیرا مقدار بزرگ آن باعث می‌شود تا فرآیند جهش بر روی اکثر ژن‌ها انجام شود و زمان همگرایی روش، به علت افزایش احتمال تخریب جواب‌های مناسب حاصل شده تا آن مرحله، طولانی شود. این فرآیند، به جمعیت اولیه ویژگی‌هایی را می‌دهد که ممکن است در کروموزوم‌های جمعیت وجود نداشته باشند. همچنین این فرآیند از همگرایی سریع الگوریتم ژنتیک در بهینه‌های محلی، قبل از آنکه تمام سطوح هزینه^{۴۹} را

⁴⁹ Cost Surface

جستجو نماید، ممانعت می‌کند. افزایش تعداد جهش، آزادی الگوریتم را برای جستجو در فضای امکان‌پذیر^{۵۰} افزایش می‌دهد (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳). معمولاً فرزندان پس از اینکه با روال ترکیب تولید شدند، جهش می‌یابند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). در ادامه انواع جهش شرح داده شده است.

۳-۱۱-۸-۱- جهش مقادیر دودویی

از آنجا که مقادیر دودویی فقط از رقم‌های ۰ و ۱ تشکیل می‌شوند، جهش دودویی به معنای عوض کردن حالت این مقادیر می‌باشد. یعنی ۰ به ۱ و ۱ به ۰ تغییر پیدا می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت که اندازه‌ی گام جهشی همواره ۱ خواهد بود. متغیری که قرار است جهش پیدا کند به صورت تصادفی از هر فرد انتخاب می‌شود. شکل (۳-۵) مثالی از یک جهش دودویی برای یک فرد با ۸ متغیر را نشان می‌دهد که در این مورد متغیر چهارم جهش پیدا کرده است (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).



شکل (۳-۵) نمایش نحوه‌ی اعمال جهش بر روی یک کروموزوم (من^{۵۱} و همکاران، ۱۹۹۶)

۳-۱۱-۸-۲- جهش مقادیر حقیقی

منظور از جهش مقادیر حقیقی، تولید تصادفی یک عدد و اضافه کردن آن به مقادیر کروموزوم با احتمال اندک می‌باشد. بنابراین باید احتمال جهش یک متغیر (سرعت جهش) و میزان جهش متغیر (اندازه‌ی گام جهش) مشخص شوند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). برای اعمال این عملگر، ابتدا باید تعداد متغیرهای یک کروموزوم که جهش روی آنها اعمال می‌شود، تعیین شوند که این کار با استفاده از رابطه (۳-۲۵) انجام می‌شود.

$$N_{mutate} = \text{ceil}(\mu \times nVar) \quad (25 - 3)$$

⁵⁰ Feasible Space

⁵¹ man

که در این رابطه: N_{mutate} = تعداد متغیرهایی است که بر روی آنها جهش اعمال می‌شود، ceil = از توابع MATLAB می‌باشد که کار این تابع، گرد کردن اعداد به سمت بالا می‌باشد (چون اگر یک عدد بین صفر و یک تولید شد، حداقل یک متغیر باشد که برای ایجاد تنوع در جمعیت، بر روی آن جهش اعمال شود)، $nVar$ = تعداد کل متغیرهای تصمیم و μ = یک عدد بسیار کوچک مثلاً ۰/۱ (البته می‌توان مقدار این پارامتر را قبل از اجرا تغییر داد) می‌باشد.

بعد از تعیین تعداد متغیرهایی که قرار است بر روی آنها جهش اعمال شود، نوبت به تعیین مکان اعمال جهش می‌باشد. در واقع باید تعیین کنیم که بر روی کدام متغیر(ها) از بین تمامی متغیرها جهش اعمال شود که این کار با استفاده از رابطه (۳-۲۶) انجام می‌شود.

$$j = \text{randsample}(nVar, N_{mutate}) \quad (26 - 3)$$

که در رابطه بالا: j = مکانی از کروموزوم، که جهش بر روی آن ژن رخ می‌دهد، randsample = کار این تابع MATLAB، تولید اعداد صحیح بین صفر تا $nVar$ و به تعداد N_{mutate} می‌باشد. حال نوبت به ایجاد فرزند جدید از طریق جهش می‌رسد برای تولید فرزند جدید از روی والد، از رابطه (۳-۲۷) استفاده شده است.

$$X_j^{new} = X_j + \sigma N(0,1) \quad (27 - 3)$$

که در این رابطه: X_j^{new} = فرزند جدید، $N(0,1)$ = توزیع نرمال استاندارد که در MATLAB با استفاده از تابع randn اعداد نرمال تولید می‌شود و σ = انحراف معیار که از رابطه (۳-۲۸) به دست می‌آید.

$$\sigma = \mu(x_{max} - x_{min}) \quad (28 - 3)$$

که در رابطه بالا: μ = یک عدد بسیار کوچک مثلاً ۰/۱ می‌باشد، $(x_{max} - x_{min})$ = حد بالا و حد پایین متغیرها می‌باشد (که برای هر روش به طور جداگانه اعمال شده است).

پس از تولید فرزندان طی اعمال عملیات‌های انتخاب، ترکیب و جهش بر روی افراد جمعیت حاضر، نوبت به عملیات جایگزینی می‌رسد. طی این عملیات فرزندان تولید شده جایگزین والدین خود می‌شوند. حال اگر تعداد فرزندان از جمعیت مورد نیاز برای نسل بعد کمتر باشد که عملیات جایگزینی بدون مشکل انجام می‌شود. اما در صورتی که تعداد فرزندان از جمعیت مورد نیاز بیشتر باشد باید طبق روال جایگزینی عده‌ای از فرزندان انتخاب شده و در جمعیت جدید جایگزین شوند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).
طرح‌های مختلفی برای جایگزینی وجود دارد که عبارتند از:

- جایگزینی کامل: که طی آن به تعداد والدین، فرزندان تولید می‌شود و در نهایت همه‌ی فرزندان جایگزین کل والدین می‌شوند.
- جایگزینی یکنواخت: که در این روش تعداد فرزندان تولید شده از والدین کمتر می‌باشد. به این ترتیب جایگزین والدینی می‌شوند که به صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت انتخاب شده‌اند.
- جایگزینی نخبه سالار: در این روش نیز فرزندان کمتر از والدین می‌باشند و فرزندان جایگزین بدترین والدین از نظر شایستگی می‌شوند.
- جایگزینی شایسته سالار: در این روش تعداد بیشتری فرزند نسبت به والدین تولید می‌شوند و در نهایت شایسته‌ترین فرزندان جایگزین والدین می‌گردند.
- جایگزینی خالص: ساده‌ترین روش برای جایگزینی می‌باشد. در این روش عمر هر فرد تنها به اندازه‌ی یک نسل خواهد بود. مشکل این روش این است که در آن والدینی که دارای شایستگی بالایی هستند نیز از بین می‌روند و به این ترتیب اطلاعات مطلوبی را از دست خواهیم داد (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

⁵² Reinsertion

ترکیبی از روش‌های جایگزینی نخبه‌سالار و شایسته‌سالار از عیب روش قبل مصون هستند و به همین دلیل توصیه زیادی بر استفاده از این دو روش می‌شود. در این روش‌ها، در هر نسل ضعیف‌ترین والدین با بهترین فرزندان جایگزین می‌گردند. در روش شایسته‌سالار بهترین فرزندان با روش انتخاب برشی انتخاب شده و جایگزین والدین می‌گردند. در این روش‌ها بهترین افراد از نظر شایستگی قابلیت ادامه‌ی حیات تا چندین نسل را خواهد داشت و در هر نسل افراد جدیدی به این مجموعه اضافه می‌شوند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). که در این تحقیق از روش جایگزینی شایسته‌سالار استفاده شده است.

۳-۱۱-۱۰- معیارهای توقف الگوریتم ژنتیک

معیارهای توقف الگوریتم ژنتیک می‌تواند یکی از معیارهای زیر یا ترکیبی از آنها باشد:

- **عدم بهبود بهترین جواب در طی چندین نسل:** اگر بین مقدار تابع برازش بهترین جواب (کروموزوم برتر) طی چندین نسل، تفاوتی محسوس مشاهده نشود، می‌تواند دلیل بر رسیدن الگوریتم ژنتیک به جواب بهینه‌ی مطلق باشد (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳).
- **طی تعداد نسل معین:** یکی دیگر از معیارهای توقف الگوریتم ژنتیک طی تعداد نسل‌های معین است. در این مسائل، برای تأمین‌شدن معیار همگرایی، تعداد حداکثر نسل ثابتی بزرگتر از مقدار مورد انتظار برای رسیدن به پاسخ بهینه در نظر گرفته می‌شود (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳).
- **محدودیت شایستگی:** الگوریتم زمانی متوقف می‌شود که بهترین مقدار شایستگی در جمعیت حاضر کوچکتر یا مساوی یک مقدار معین شود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).
- **عدم بهبودی بهترین جواب در طی مدت زمان معین:** در این معیار اگر در طی مدت زمان معینی (بدون توجه به تعداد نسل‌های ایجاد شده) بهترین جواب انتخاب شده نسل آخر بهبودی ایجاد نگردد، الگوریتم ژنتیک محاسبات خود را متوقف خواهد ساخت. این معیار بدلیل مشکل بودن تخمین زمان اجرا، نسبت به معیارهای قبل کاربرد کمتری دارد.

معیار توقف می‌تواند ترکیبی از معیارهای فوق نیز باشد (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳). الگوریتم ژنتیک زمانی به پایان می‌رسد که به جواب قابل قبولی برسیم و یا تعداد مشخصی نسل طی شود. که در این تحقیق از تعداد تکرار به عنوان شرط توقف استفاده شده است.

۳-۱۲- نحوه تعریف تابع شایستگی برای روش سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل

همانطور که در بخش (۳-۱۱-۴) گفته شد، تابع شایستگی یک معیار مناسب برای انتخاب کروموزوم‌ها ایجاد می‌کند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). در ادامه نحوه انتخاب تابع شایستگی برای روش سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل در این تحقیق، شرح داده شده است:

۳-۱-۱- تابع شایستگی برای روش سازه‌ای کنترل سیل

چون در این روش، ابعاد سد، ابعاد کانال و حجم‌های خاکبرداری و خاکریزی متغیر (وابسته) می‌باشند، معیاری که برای مقایسه طرح‌های مختلف انتخاب می‌شود، هزینه هر سیستم تولیدی می‌باشد. که این هزینه برابر با مجموع هزینه ساخت سد، هزینه خاکبرداری و خاکریزی و همچنین هزینه پوشش می‌باشد و از رابطه (۳-۲۹) بدست می‌آید.

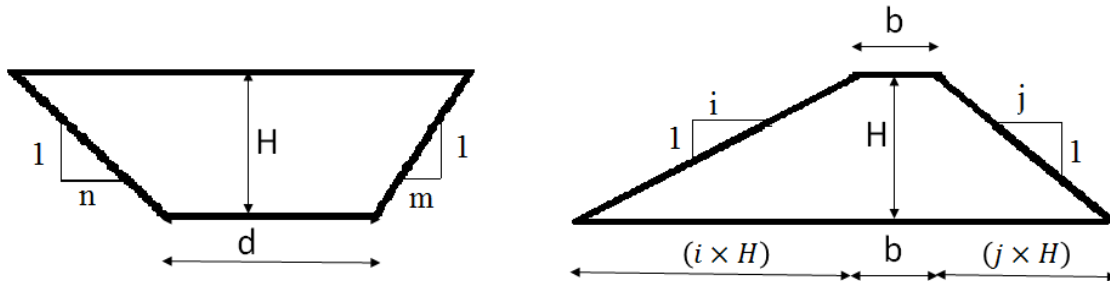
$$(3 - 29) \quad \text{هزینه حجم خاکبرداری و خاکریزی} + \text{هزینه حجم پوشش کانال} + \text{هزینه سد} = \text{تابع شایستگی}$$

که برای محاسبه هزینه هر یک از موارد ذکر شده، باید ابعاد و حجم این متغیرها به دست آید. که در ادامه نحوه محاسبه هزینه سد، هزینه خاکبرداری و خاکریزی و همچنین هزینه حجم پوشش کانال توضیح داده شده است.

۳-۱۲-۱- نحوه محاسبه هزینه سد خاکی

همانطور که در بخش (۱-۴) گفته شد، فرض شده است که هزینه سد خاکی مورد مطالعه برابر با، ضرب هزینه حجم خاکریزی در هزینه حجم واحد ساخت سد کبودوال می‌باشد.

برای محاسبه حجم خاکریزی سد، با در نظر گرفتن پارامترهایی که در شکل (۳-۶) نشان داده شده است، و همچنین روابط (۳-۳۰) تا (۳-۳۵) حجم خاکریزی سد محاسبه می‌شود.



شکل (۳-۶) پارامترهای در نظر گرفته شده برای محاسبه سطح و حجم خاکریزی سد، راست مقطع عرضی سد و چپ پروفیل طولی محور سد (شمسائی، ۱۳۸۳).

۱- حجم خاکریزی سد با استفاده از رابطه (۳-۳۰) به دست می‌آید.

$$V_{\text{Fill}} = A \times d + \frac{H^3}{6} \times (n + m) \times (i + j) + b \times \frac{H^2}{2} \times (n + m) \quad (30 - 3)$$

که در این رابطه: V_{Fill} = حجم خاکریزی سد بدون خاکبرداری پی، A = سطح مقطع سد، d = عرض کف (۹۹۲ متر)، H = ارتفاع سد، m, n = شیب تکیه‌گاه‌ها، به ترتیب در سواحل چپ و راست، i, j = به ترتیب شیب سد در بالادست و پایین‌دست، b = عرض تاج سد می‌باشد.

۲- برای محاسبه سطح مقطع سد از رابطه (۳-۳۲) استفاده می‌شود (شمسائی، ۱۳۸۳).

$$A = b \times H + \frac{H^2}{2} \times (i, j) \quad (31 - 3)$$

$$A = b \times H + \left(\frac{1}{2} \times H \times (i \times H) \right) + \left(\frac{1}{2} \times H \times (j \times H) \right) \quad (32 - 3)$$

که در این روابط: i, j = به ترتیب شیب سد در بالادست و پایین‌دست می‌باشند (شمسائی، ۱۳۸۳).

۳- شیب بدنه سد در بالادست و پایین‌دست سدهای خاکی تابع مصالح مورد استفاده، وضعیت پی سد و ارتفاع آن است (رحیمی، ۱۳۸۲). محققان و سازمان‌های مختلف علمی یا اجرایی برای انتخاب مقدماتی

شیب بدنه سدهای خاکی، معیارهای مختلفی ارائه کرده‌اند که از جمله می‌توان به ارقام پیشنهادی ترزاقی (جدول ۳-۶)، که بر اساس نوع مصالح بدنه سد و ارتفاع سد، شیب‌های بالادست و پایین‌دست را ارائه نموده است، اشاره کرد (شمسائی، ۱۳۸۳). که برای سد کبودوال که از نوع خاکی همگن می‌باشد و جنس مصالح از نوع رسی سیلتی است داریم:

جدول (۳-۶) شیب‌های کناری توصیه شده توسط ترزاقی برای سد خاکی (شمسائی، ۱۳۸۳)

شیب پایین‌دست	شیب بالادست	سد همگن از مواد رسی سیلتی یا رسی
۱ : ۲	۱ : ۲/۵	ارتفاع سد کمتر از ۱۵ متر
۱ : ۲/۵	۱ : ۳	ارتفاع سد بیشتر از ۱۵ متر

۴- برای محاسبه عرض تاج سد، سازمان عمران آمریکا (USBR) برای سدهای خاکی با ارتفاع‌های مختلف، روابط (۳-۳۳) تا (۳-۳۵) را پیشنهاد کرده است (رحیمی، ۱۳۸۲).

$$b = \frac{H_{dam}}{5} + 3 \quad \text{if} \quad 0 \leq H < 20 \quad (33 - 3)$$

$$b = 0.55 \times \sqrt{H} + 0.2 \times H \quad \text{if} \quad 20 \leq H < 60 \quad (34 - 3)$$

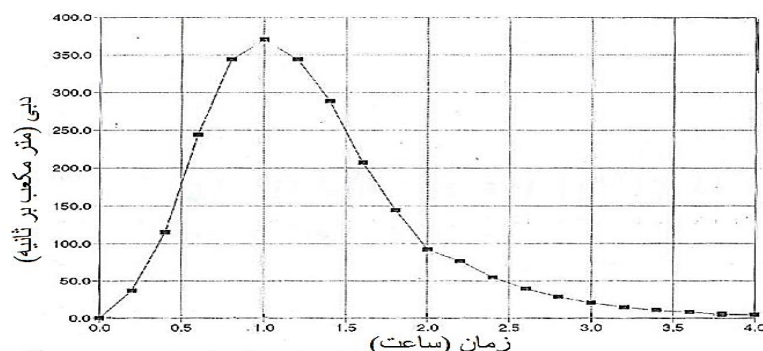
$$b = 3.6 \times (H)^{1/3} \quad \text{if} \quad H \geq 60 \quad (35 - 3)$$

۳-۱۲-۱-۲- محاسبه ارتفاع سد

برای محاسبه ارتفاع سد، ابتدا باید رقوم نرمال و رقوم حداکثر سیل در مخزن و ارتفاع آزاد و غیره محاسبه شوند. که موارد ذکر شده از طریق روندیابی سیل در مخزن به دست می‌آید. برای روندیابی سیل در مخزن، باید ورودی و خروجی مشخص باشند. خروجی اصلی از مخزن سد کبودوال، از تخلیه کننده تحتانی می‌باشد و بر این اساس، حداکثر خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی از رابطه (۳-۲) به دست می‌آید. همانطور که از رابطه (۳-۲) مشخص است، برای یک سیل با هیدروگراف ورودی مشخص، با کاهش سطح مقطع تخلیه‌کننده تحتانی (A)، حداکثر تراز آب پشت سد افزایش می‌یابد. زیرا با کوچک

شدن سطح مقطع تخلیه‌کننده، خروجی از سد کاهش یافته و مقدار بیشتری از حجم سیل ورودی در پشت سد می‌ماند و آب در پشت سد در تراز بالاتری قرار خواهد گرفت.

پس از تعیین خروجی باید ورودی به سد هم مشخص شود. ورودی به سد کبودال از دو قسمت می‌باشد. یک ورودی از کانالی به ظرفیت ۲۰ متر مکعب بر ثانیه است، که آب منحرف شده توسط سد انحرافی زرینگل را به مخزن سد کبودال انتقال می‌دهد. و ورودی بعدی از رودخانه کبودال می‌باشد که مستقیماً به مخزن وارد می‌شود. در نتیجه برای روندیابی سیل در رودخانه هر دو این ورودی‌ها لحاظ می‌شوند. البته ورودی رودخانه کبودال، هیدروگراف سیل حداکثر محتمل می‌باشد که در زمان ۴ ساعت رخ می‌دهد که دبی پیک آن برابر با ۳۷۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. شکل (۷-۳) هیدروگراف سیل ورودی به مخزن کبودال را نشان می‌دهد.



شکل (۷-۳) هیدروگراف حداکثر سیل ورودی به رودخانه کبودال

برای روندیابی سیل در ابتدا باید گام‌های زمانی (Δt) مشخص باشد. با توجه به اینکه Δt باید بنحوی تعیین گردد که بین زمان شروع سیل و زمان اوج آن حداقل ۵ نقطه وجود داشته باشد (شمسائی، ۱۳۸۳)، و با توجه به اینکه زمان پایه هیدروگراف حداکثر سیل محتمل رودخانه کبودال ۴ ساعت می‌باشد، در نتیجه گام زمانی ۱۰ دقیقه انتخاب شد تا بین شروع و زمان اوج هیدروگراف حداقل ۵ نقطه وجود داشته باشد.

برای استفاده از هیدروگراف سیل محتمل و به دست آوردن دبی‌های گام زمانی ۱۰ دقیقه از روی این هیدروگراف، از نرم‌افزار Engauge Digitizer استفاده شد. نرم‌افزار Digitize یک نرم‌افزار رایگان

می باشد که بر روی سایت <http://digitizer.sourceforge.net> قرار دارد. با استفاده از این نرم افزار می توان

داده های هر نوع نمودار (اعم از لگاریتمی و داده های توپوگرافی و غیره) را به دست آورد.

پس از به دست آوردن دبی در گام های زمانی ۱۰ دقیقه، حجم دبی را در هر گام با استفاده از روش دوزنقه (رابطه ۱۴-۳)، محاسبه می کنیم. برای به دست آوردن حجم سیل، با استفاده از دبی میانگین دو مقطع متوالی و ضرب آن در گام زمانی، حجم سیل در هر گام زمانی به دست می آید. به طور خلاصه برای به دست آوردن حجم سیل در هر گام زمانی، اقدامات زیر انجام شده است:

- تقسیم زمان پایه هیدروگراف به Δt های یکسان. Δt باید بنحوی تعیین گردد که بین زمان

شروع سیل و زمان اوج آن حداقل ۵ نقطه وجود داشته باشد (شمسائی، ۱۳۸۳).

- به دست آوردن دبی در هر گام زمانی یا Δt ، (با استفاده از داده های رقومی شده ی هیدروگراف

سیل رودخانه کبودوال)

- به دست آوردن متوسط دبی با استفاده از یکی از روش های گفته شده در بخش (۳-۶-۱).

- ضرب کردن متوسط دبی در Δt (علیزاده، ۱۳۹۱).

و پس از مشخص شدن حجم ورودی ها به سد کبودوال، ارتفاع سد و حداکثر خروجی که بر

سیستم تاثیرگذار است با استفاده از روندیابی مشخص می شود.

۳-۱۲-۱-۳- روابط روندیابی سیل در مخزن

روندیابی سیل در مخزن به روش های مختلفی انجام می گیرد که یکی از این روش ها استفاده از معادلات رانگ کوتای مرتبه چهارم است. عبارت دیگر در این روش با استفاده از معادلات مربوطه اقدام به محاسبه ذخیره مخزن در هر مرحله می گردد و سپس با استفاده از روابط حداکثر دبی خروجی، میزان جریان خروجی در آن مرحله تعیین می گردد. این روش برای مقادیر کوچک Δt از دقت بسیار بالایی برخوردار است (شمسائی، ۱۳۸۳). معادلات حاکم در این روش عبارتند از:

$$\frac{dv}{dt} = I - O \quad (36 - 3)$$

$$K_1 = \Delta t [I_{(i)} - O_{(i)}] \quad (37 - 3)$$

$$K_2 = \Delta t \left[I_{(i)} - \left(O_{(i)} + \frac{K_1}{2} \right) \right] \quad (38 - 3)$$

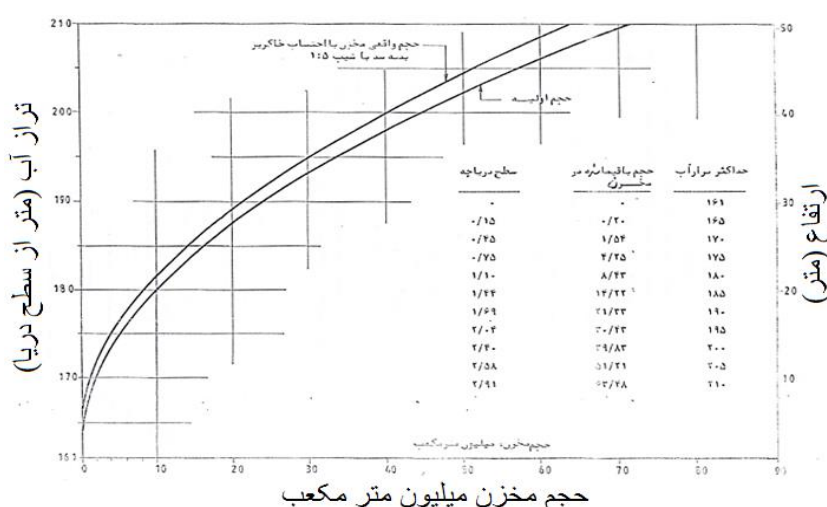
$$K_3 = \Delta t \left[I_{(i)} - \left(O_{(i)} + \frac{K_2}{2} \right) \right] \quad (39 - 3)$$

$$K_4 = \Delta t [I_{(i)} - (O_{(i)} + K_3)] \quad (39 - 3)$$

$$S_{(i+1)} = S_{(i)} + \frac{1}{6} (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4) \quad (40 - 3)$$

که در این روابط: i = گام زمانی، $S_{(i+1)}$ = حجم مخزن در گام زمانی بعدی، $S_{(i)}$ = حجم مخزن در دوره حاضر، $I_{(i)}$ = ورودی به مخزن سد و $O_{(i)}$ = خروجی از مخزن می باشد. لازم به ذکر است که حداکثر خروجی با استفاده از رابطه های (۳-۱۰) و (۳-۱۱) قابل محاسبه است.

مقادیر حداکثر حجم مخزن و حداکثر دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی، برای به دست آوردن ارتفاع سد و طراحی کانال پایین دست مورد نیاز می باشد. برای این منظور ابتدا مقدار حداکثر حجم مخزن (که از روندیابی سیل در مخزن به دست آمده است)، با استفاده از نمودار ارتفاع-حجم سد کبودوال که در شکل (۳-۸) نشان داده شده است (که با استفاده از نرم افزار Engauge Digitizer داده هایش رقومی شده است)، به ارتفاع معادلش تبدیل می شود و از این ارتفاع برای محاسبات سد استفاده می شود. و از حداکثر دبی خروجی، در محاسبات مربوط به طراحی کانال استفاده می شود.



شکل (۳-۸) منحنی تغییرات حجم مخزن بر حسب تراز آب در ساختگاه سد کبودوال

برای محاسبه ارتفاع سد، لازم است که ارتفاع آزاد ناشی از ارتفاع موج و خیزش موج نیز در دسترس باشد. که در نهایت ارتفاع سد برابر با مجموع ارتفاع معادل با حداکثر حجم مخزن پس از روندیابی سیل در مخزن، و ارتفاع آزاد ناشی از ارتفاع موج و خیزش موج، ارتفاع ناشی از نشست و ارتفاع آب بر روی تیغه‌ی سرریز اضطراری می‌باشد. در جدول (۷-۳) ارتفاع آزاد ناشی از ارتفاع موج و خیزش موج بر روی سد کبودوال نشان داده شده است:

جدول (۷-۳) مشخصات موج و ارتفاع آن در شرایط مختلف برای سد کبودوال

شرح	واحد	سیلاب ۱۰۰۰ ساله	حالت سیلاب حداکثر محتمل
سرعت باد در روی زمین	متر در ثانیه	۳۲/۱	۱۰/۲
سرعت باد در روی آب	متر در ثانیه	۳۵/۳	۱۱/۲
دوره بازگشت باد	سال	۱۰۰	۲
ارتفاع موج	متر	۰/۸۵	۰/۲۵
طول موج	متر	۱۲/۶۶	۴/۶۲
دوره تناوب	ثانیه	۲/۸۵	۱/۷۲
ارتفاع موج طراحی	متر	۱/۰۷	۰/۳۲
خیزش موج	متر	۰/۶۲	۰/۲
مجموع خیزش و ارتفاع موج	متر	۱/۶۹	۰/۵۲

در نهایت، پس محاسبه ارتفاع سد، شیب پایین‌دست و بالادست و حجم خاکریزی سد، هزینه سد برابر می‌شود با:

$$Cost_{Dam} = Fill_{Dam} \times C_{Dam} \quad (41 - 3)$$

در رابطه فوق: $Cost_{Dam}$ = هزینه ساخت سد، $Fill_{Dam}$ = حجم خاکریزی، C_{Dam} = هزینه حجم واحد ساخت سد می‌باشد.

۳-۱۲-۴- نحوه محاسبه هزینه پوشش کانال و حوضچه آرامش

برای محاسبه هزینه پوشش کانال و حوضچه آرامش و همچنین هزینه خاکبرداری و هزینه خاکریزی، باید ابعاد کانال و حوضچه آرامش مشخص باشد. که در ادامه نحوه بدست آوردن ابعاد حوضچه و کانال شرح داده شده است.

الف) ابعاد حوضچه آرامش

با در نظر گرفتن یک حوضچه آرامش مستطیلی ساده برای تمامی حالات عدد فرود، روابط محاسبه

ابعاد حوضچه به شرح زیر می باشد:

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} \quad (42 - 3)$$

$$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} \quad (43 - 3)$$

$$V_1 = \frac{Q_{Max}}{A_1 + A_2} \quad (44 - 3)$$

$$W = 1.8\sqrt{Q_{Max}} \quad (45 - 3)$$

$$y_1 = \frac{Q_{Max}}{W \times V_1} \quad (46 - 3)$$

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \times y_1}} \quad (47 - 3)$$

$$y_2 = \left(\frac{y_1}{2}\right) \left(\sqrt{1 + 8 \times Fr_1^2} - 1\right) \quad (48 - 3)$$

$$L_j = 6.9(y_2 - y_1) \quad (49 - 3)$$

$$Fb = 0.1(V_1 + y_2) \quad (50 - 3)$$

$$H = y_2 + Fb \quad (51 - 3)$$

$$EL_{Hozche Aramesh} = 155.8 - H \quad (52 - 3)$$

$$M_{Shibdar} = 0.33 \quad (53 - 3)$$

$$L_{Shibdar} = M_{Shibdar} \times H \quad (54 - 3)$$

$$P = W + 2 \times H \quad (55 - 3)$$

$$A_{Poshesh} = P \times b \quad (56 - 3)$$

$$V = A_{Poshesh} \times (L_j + L_{Shibdar}) \quad (57 - 3)$$

که در روابط بالا: A_1 = سطح مقطع تخلیه کننده اول، A_2 = سطح مقطع تخلیه کننده دوم، V_1 =

سرعت آب قبل از پرش هیدرولیکی، W = عرض حوضچه، y_1 = عمق اولیه پرش، Fr_1 = عدد فرود قبل

پرش، y_2 = عمق ثانویه پرش هیدرولیکی، L_j = طول پرش، Fb = ارتفاع آزاد حوضچه، H = ارتفاع کل

حوضچه، $EL_{Hozche Aramesh}$ = رقوم کف حوضچه، $M_{Shibdar}$ = شیب قسمت ابتدایی خروجی از

تخلیه‌کننده تحتانی تا ابتدای کف حوضچه، $L_{shibdar}$ = طول قسمت ابتدایی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی تا ابتدای کف حوضچه، P ، $A_{poshesh}$ = سطح مقطع پوشش، V = حجم پوشش حوضچه آرامش می باشد.

ب) ابعاد کانال

برای بدست آوردن ابعاد کانال در این تحقیق، از روش حداکثر دبی و بهترین مقطع هیدرولیکی استفاده شده است. حداکثر دبی از مرحله قبلی (روندیابی سیل در مخزن) بدست می‌آید، که برای طراحی کانال و همچنین بدست آوردن مقدار ضخامت پوشش کانال از حداکثر دبی استفاده شده است. اساس طراحی کانال به روش بهترین مقطع هیدرولیکی بر مبنای معادله مانینگ و حداقل سازی پیرامون مرطوب می‌باشد. در صورتی که دبی مقداری معین باشد سطح مقطه جریان زمانی مینیمم می‌شود که پیرامون تر شده مینیمم شود. برای کانال‌های دوزنقه‌ای که در عمل بیشتر ساخته می‌شوند، در زمانی که شیب جانبی مقداری معین باشد، بهترین مقطع هیدرولیکی زمانی حاصل می‌شود که نسبت عرض در کف و عمق آب به صورت رابطه (۳-۵۸) بیان شود.

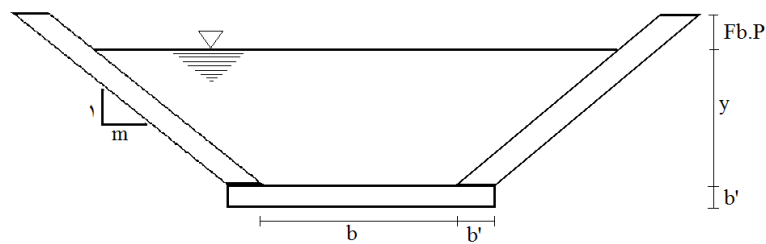
$$\frac{b}{y} = 2 \left(\sqrt{1 + m^2} - m \right) \quad (58 - 3)$$

بازاء مقادیر مختلف m بهترین مقطع هیدرولیکی زمانی حاصل می‌شود که $m = \tan 60^\circ$ باشد. در این حالت کانال دوزنقه‌ای در یک نیم‌دایره محیط یا بر یک نیم‌دایره محاط می‌شود (بیرامی، ۱۳۹۱). در جدول (۳-۸) مشخصات هندسی بهترین مقطع هیدرولیکی، برای کانال مورد استفاده در این تحقیق آورده شده است.

جدول (۳-۸) مشخصات هندسی بهترین مقطع هیدرولیکی کانال دوزنقه‌ای (بیرامی، ۱۳۹۱).

نوع کانال	سطح مقطع جریان (A)	پیرامون تر شده (P)	شعاع هیدرولیکی (R)	عرض در سطح آزاد (T)	عمق هیدرولیکی (D)
دوزنقه‌ای	$\sqrt{3}y^2$	$2\sqrt{3}y$	$\frac{1}{2}y$	$4\frac{\sqrt{3}}{3}y$	$\frac{3}{4}y$

پس از محاسبه ابعاد کانال باید مقدار ضخامت پوشش کانال تعیین شود. برای تعیین مقدار ضخامت پوشش، مراجع مختلف مقادیر متفاوتی پیشنهاد داده‌اند که از این بین می‌توان به مقادیر پیشنهادی امیری تکلدانی و سیاهی (۱۳۹۲) اشاره نمود که مقادیر ضخامت انواع پوشش سخت در کانال‌ها را بر اساس دبی عبوری ارائه داده‌اند. مقادیر ضخامت برای بتن مسلح به شرح جدول (۹-۳) می‌باشد. شکل (۹-۳) مقدار ضخامت پوشش کانال را نشان می‌دهد.

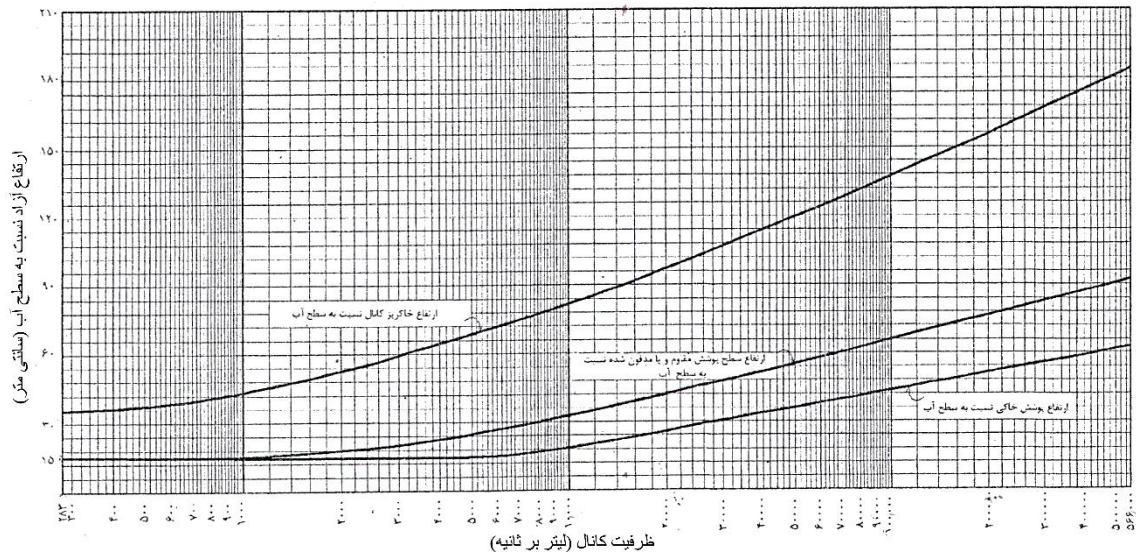


شکل (۹-۳) نمایش ضخامت کانال دوزنقه‌ای (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۸).

جدول (۹-۳) مقادیر ضخامت پوشش سخت در کانال‌ها بر حسب سانتی‌متر (امیری تکلدانی و سیاهی، ۱۳۹۲).

$10 \leq Q < 15$	$5 \leq Q < 10$	$3 \leq Q < 5$	$Q < 3$	نوع پوشش
۶/۵	۶/۵	۵-۶	۵-۶	بتن غیرمسلح
۹	۹	۹	۹	بتن مسلح
$Q \geq 100$	$60 \leq Q < 100$	$40 \leq Q < 60$	$15 \leq Q < 40$	نوع پوشش
۱۰	۱۰	۱۰	۸	بتن غیرمسلح
۱۲	۱۲	۱۰	۱۰	بتن مسلح

پس از تعیین ابعاد کانال، باید ارتفاع آزاد کانال و همچنین ارتفاع آزاد پوشش نیز محاسبه شود. برای محاسبه ارتفاع آزاد پوشش و کانال از نمودار شکل (۱۰-۳) استفاده شده است، که این نمودار، مقادیر ارتفاع آزاد را بر حسب دبی عبوری ارائه کرده است. و برای استفاده از این نمودار ابتدا با نرم‌افزار Engauge Digitizer داده‌هایش را رقومی می‌کنیم. و در برنامه بهینه‌سازی نیز با استفاده از تابع interp1 هر جا که لازم شد مقدار پوشش از روی داده‌های رقومی شده‌ی این نمودار، به دست می‌آید.



شکل (۳-۱۰) راهنمای تعیین عمق آزاد در کانال‌های خاکی و پوشش‌شده (امیری تکلدانی و سیاهی، ۱۳۹۲).

لازم به ذکر است که در طراحی کانال باید حداکثر و حداقل سرعت مجاز، و همچنین محدودیت عدد فرود نیز رعایت گردد که روابطه حداقل سرعت و عدد فرود در ادامه شرح داده شده است.

حداکثر سرعت در کانال‌ها محدود به ۱۲ متر بر ثانیه می‌باشد (امیری تکلدانی و سیاهی، ۱۳۹۲).

و حداقل سرعت نیز از رابطه (۳-۵۹) به دست می‌آید.

$$V_{min} = 1.6 \times (g \times D_s)^{0.5} \times \left(\frac{y}{D_s} \right)^{0.2} \quad (3-59)$$

که در این رابطه: V_{min} = حداقل سرعت غیر رسوب‌گذار در کانال، g = شتاب ثقل، D_s = قطر اندازه

رسوب که برای امور کشاورزی برابر با ۰/۲۵ میلیمتر می‌باشد (بیرامی، ۱۳۹۱)، y = عمق آب بر حسب متر.

حداقل عدد فرود برابر با ۰/۱۲ می‌باشد (بیرامی، ۱۳۹۱)، و عدد فرود از رابطه (۳-۶۰) به دست

می‌آید

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (3-60)$$

که در این رابطه: V = سرعت آب در کانال، D = عمق هیدرولیکی که برابر است با نسبت سطح مقطع به عرض سطح آزاد آب (بیرامی، ۱۳۹۱).

در نهایت، پس از بدست آوردن ارتفاع آب در کانال، ارتفاع آزاد پوشش و همچنین مقدار ضخامت پوشش کانال، هزینه حجم پوشش کانال با استفاده از رابطه (۳-۶۴) تعیین می‌گردد.

$$V_b = (b + 2 \times \hat{b}) \times \hat{b} \quad (3-61)$$

$$V_h = 2 \times \left(\hat{b} \times \left((y + Fb_p) \times \sqrt{1 + m^2} \right) \right) \quad (3-62)$$

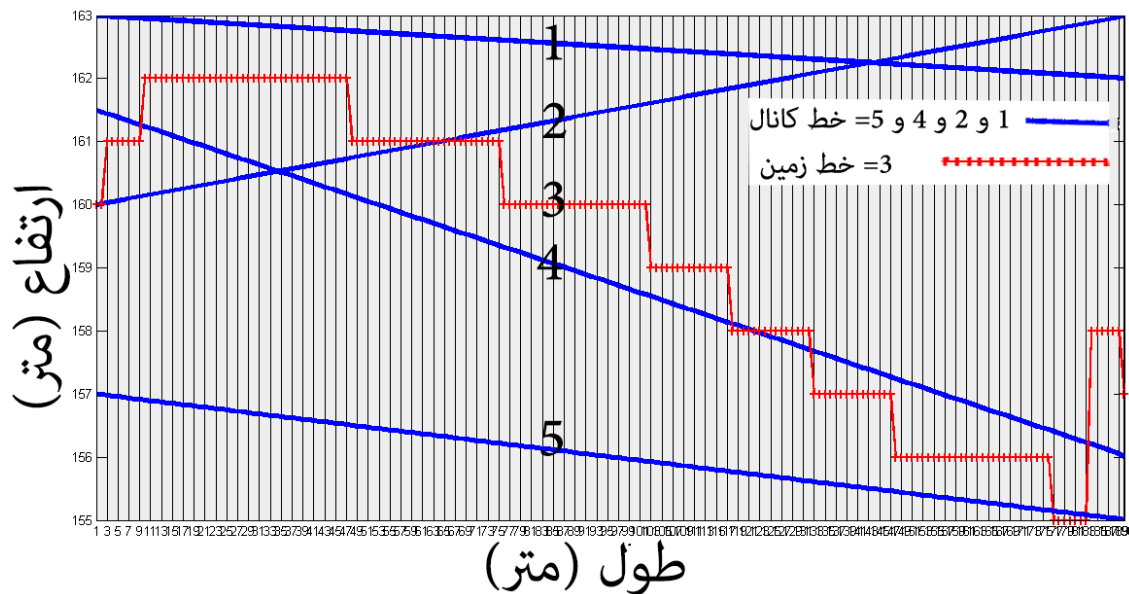
$$V_{Sum} = V_b + V_h \quad (3-63)$$

$$Cost_{poshesh} = (V_{Sum} \times L) \times C_p \quad (3-64)$$

که در روابط بالا: V_b = حجم پوشش کانال در کف، b = عرض کف کانال، $\hat{b}$ = ضخامت پوشش، V_h = حجم پوشش برای دو طرف کانال، y = ارتفاع آب در کانال، Fb_p = ارتفاع آزاد پوشش، m = شیب جانبی کانال، V_{Sum} = مجموع حجم پوشش کانال، $Cost_{poshesh}$ = هزینه کل پوشش کانال، L = طول کانال، C_p = هزینه حجم واحد پوشش کانال می‌باشد.

۳-۱۲-۱-۵- نحوه محاسبه هزینه خاکبرداری و خاکریزی

قسمت دیگر از هزینه کانال و حوضچه آرامش مربوط به خاکبرداری و خاکریزی هر مقطع می‌باشد. هزینه خاکبرداری در این تحقیق، از ضرب حجم خاکبرداری در هزینه حجم واحد خاکبرداری بدست می‌آید. هزینه خاکریزی نیز از ضرب حجم خاکریزی در هزینه حجم واحد خاکریزی بدست می‌آید. همان‌طور که در قسمت (۳-۳-۱) بیان شد، یکی از متغیرهای تصمیم، ارتفاع کف کانال و حوضچه آرامش می‌باشد. بسته به اینکه در الگوریتم ژنتیک چه ارتفاعی برای رقوم کف کانال پیشنهاد شود، و همچنین بسته به ارتفاع سطح زمین، ممکن است چندین حالت مختلف، برای خاکبرداری و خاکریزی داشته باشیم. شکل (۳-۱۱) حالات مختلف خط کانال نسبت به خط زمین را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱۱) حالات مختلف خط کانال نسبت به خط زمین

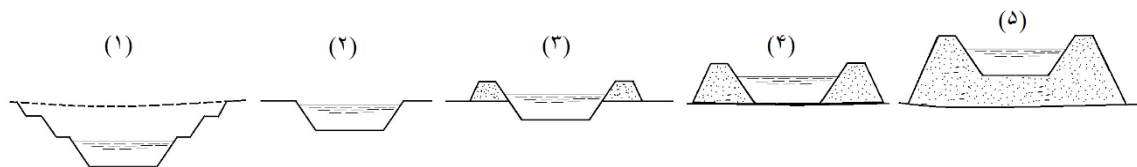
چون در الگوریتم ژنتیک، ممکن است که هر یک از حالت‌های نشان داده شده در شکل (۳-۱۰) رخ دهد، باید کد نویسی به نحوی انجام شود که اگر هر یک از خطوط کانال شکل (۳-۱۰) رخ داد، حجم خاکبرداری و خاکریزی محاسبه شود. لازم به ذکر است که اگر، در طول اجرای الگوریتم ژنتیک، کروموزومی منجر به تولید کانالی همچون شماره ۲ در شکل (۳-۱۰) شود، به دلیل منفی شدن شیب، باید جریمه‌ای برای آن در نظر بگیریم تا الگوریتم در تکرارهای بعدی از ارائه چنین پاسخی خودداری کند.

نحوه محاسبه حجم خاکبرداری و خاکریزی به این نحو می‌باشد که، ابتدا پس از تولید رقوم ابتدا و انتهای کانال در الگوریتم ژنتیک، باید شیب و رقوم کف کانال را برای هر متر از طول کانال محاسبه کنیم. در زیر نحوه بدست آوردن موارد مذکور در کد نوشته شده ی MATLAB نشان داده شده است:

```
ELkanal(1)=ElHozche Aramesh; % رقوم کف ابتدای کانال برابر با رقوم کف حوضچه آرامش
ELkanal(190)=X(2); % رقوم کف انتهای کانال (معرفی شده توسط الگوریتم ژنتیک)
SHib=(ELkanal(1)-ELkanal(190))/190; % شیب کانال

رقوم کف کانال برای طول‌های ۱ متر از ابتدا تا انتها %
for i=1:188
    ELkanal(i+1)=ELkanal(i)-SHib;
end
```

پس از محاسبه رقوم کف حوضچه آرامش و کف کانال، از ابتدا تا انتهای حوضچه آرامش و کانال (طول هر مقطع ۱ متر در نظر گرفته شده است)، ابتدا باید تعیین شود که در هر متر از مسیر، کف حوضچه و کانال در کدام یک از حالت‌های خاکبرداری، خاکریزی یا مختلط می‌باشد. همانطور که در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است، ممکن است که حالت‌های مختلفی برای خاکبرداری و خاکریزی داشته باشیم.



شکل (۳-۱۲) حالات مختلف خاکبرداری و خاکریزی (بیرامی، ۱۳۹۱).

در شکل (۳-۱۱) حالت (۱) وقتی رخ می‌دهد که مجموع ارتفاع کف کانال، عمق آب، ارتفاع آزاد کانال، و ضخامت پوشش کانال از ارتفاع سطح زمین کمتر باشد. و برای این مقاطع، ترانشه‌هایی (دیوارهای قائم) با ارتفاع ۵ تا ۸ متر و همچنین سکوهایی با عرض ۱-۲ متر در نظر می‌گیرند (بیرامی، محمدکریم، ۱۳۹۱: ۱۳۱). واضح است که در این حالت فقط خاکبرداری داریم و خاکریزی صفر می‌باشد. و برای شیب کناره‌های آن نیز از جدول (۳-۱۰) استفاده شده است.

جدول (۳-۱۰) شیب استاندارد شیروانی‌های خاکبرداری (عطاله و جلالیان‌هاشمی، ۱۳۹۳).

نوع خاک	ماسه نرم	ماسه درشت همراه با لای	شن متراکم	لای و رس خشک
زاویه شیروانی (درجه)	۲۶/۵ - ۳۰	۳۰ - ۳۵	۳۹ - ۴۵	۴۴ - ۴۵

در شکل (۳-۱۲) حالت (۲) وقتی رخ می‌دهد که مجموع ارتفاع کف کانال، عمق آب، ارتفاع آزاد کانال، و ضخامت پوشش کانال برابر با ارتفاع کف زمین باشد. همانند حالت (۱) در این حالت نیز فقط خاکبرداری داریم.

در شکل (۳-۱۲) حالت (۳) وقتی رخ می‌دهد که ارتفاع کف کانال کمتر از ارتفاع سطح زمین ولی مجموع ارتفاع کف کانال، عمق آب، ارتفاع آزاد کانال، و ضخامت پوشش کانال، بیشتر از ارتفاع کف زمین باشد. در این حالت هم خاکبرداری و هم خاکریزی داریم.

در شکل (۳-۱۲) حالت (۴) وقتی رخ می‌دهد که ارتفاع کف کانال پیشنهادی برابر با ارتفاع سطح زمین باشد. در این حالت فقط خاکریزی داریم.

در شکل (۳-۱۲) حالت (۵) وقتی رخ می‌دهد که ارتفاع کف کانال پیشنهادی بیشتر از ارتفاع سطح زمین باشد. در این حالت نیز فقط خاکریزی داریم.

برای حالت‌های (۳) تا (۵)، اگر ارتفاع خاکریزی کمتر از ۲ متر باشد، شیب خارجی خاکریز بدنه‌ی کانال تندتر از ۱/۵:۱ استفاده می‌شود (امیری تکلدانی و سیاهی، ۱۳۹۲). و همچنین عرض بالای خاکریز برای این حالات از جدول (۳-۱۱) که بر حسب دبی می‌باشد، به دست می‌آید:

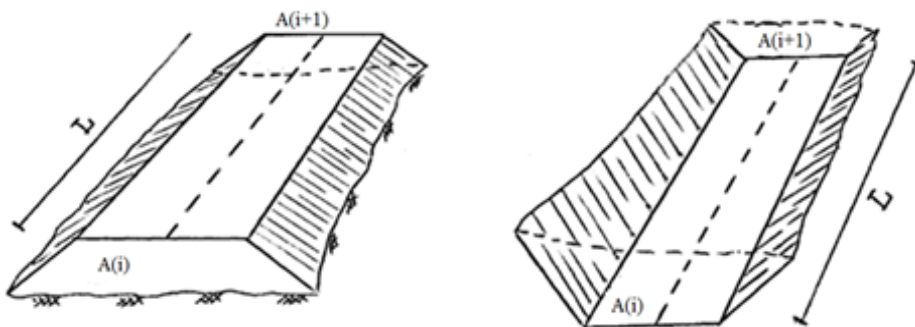
جدول (۳-۱۱) مقادیر عرض بالای خاکریز بر حسب بده کانال (امیری تکلدانی و سیاهی، ۱۳۹۲).

دبی (متر مکعب بر ثانیه)	$Q < 1$	$1 \leq Q < 3$	$3 \leq Q < 7$	$7 \leq Q < 15$	$15 \leq Q < 30$	$Q \geq 30$
عرض بالای خاکریزی (متر)	۰/۹ - ۱/۲	۱/۲ - ۲	۲/۵ - ۲	۳ - ۲/۵	۴ - ۳	۴/۵

نحوه محاسبه حجم خاکبرداری و خاکریزی به روش مقطع میانی انجام می‌گیرد. در ادامه نحوه محاسبه حجم خاکبرداری و خاکریزی شرح داده شده است.

الف- نحوه محاسبه حجم بین دو مقطع خاکریزی کامل و یا خاکبرداری کامل

همانند شکل (۳-۱۳) اگر دو مقطع، به طور کامل در خاکبرداری و یا به طور کامل در خاکریزی قرار داشته باشند، با استفاده از رابطه‌ی (۳-۶۷) مقدار حجم خاکبرداری و خاکریزی قابل محاسبه است.



شکل (۳-۱۳) راست: دو نیمرخ خاکبرداری کامل، چپ: دو نیمرخ خاکریزی کامل (سلیمانی، ۱۳۸۴).

در شکل فوق (۳-۱۳) داریم: $A(i)$ = مساحت مقطع عرضی اول، $A(i+1)$ = مساحت مقطع عرضی دوم، L = فاصله افقی بین دو مقطع می‌باشد. در صورتیکه میانگین سطح دو مقطع دو نیمرخ عرضی را A_m بنامیم خواهیم داشت:

$$A_m = \frac{A_i + A_{i+1}}{2} \quad (65 - 3)$$

و اگر A_m را در فاصله بین دو نیمرخ L ضرب کنیم، حجم بین دو نیمرخ از رابطه (۳-۶۶) به دست می‌آید.

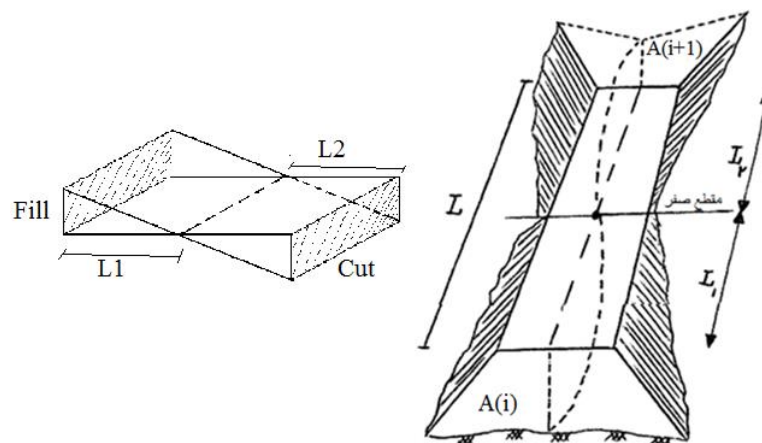
$$V = A_m \times L = \frac{A_1 + A_2}{2} \times L \quad (66 - 3)$$

چنانچه حجم محاسبه شده خاکبرداری باشد با V_C و اگر حجم محاسبه شده خاکریزی باشد با V_F نشان می‌دهیم (سلیمانی، ۱۳۸۴). خاکبرداری و خاکریزی از رابطه (۳-۶۷) بدست می‌آید.

$$V_C = V_F = A_m \times L \quad (67 - 3)$$

ب- نحوه محاسبه حجم بین دو نیمرخ مختلف

چنانچه دو مقطع عرضی یکی خاکبرداری و دیگری خاکریزی باشد، حجم عملیات خاکی بین دو مقطع مشابه شکل (۳-۱۴) است.



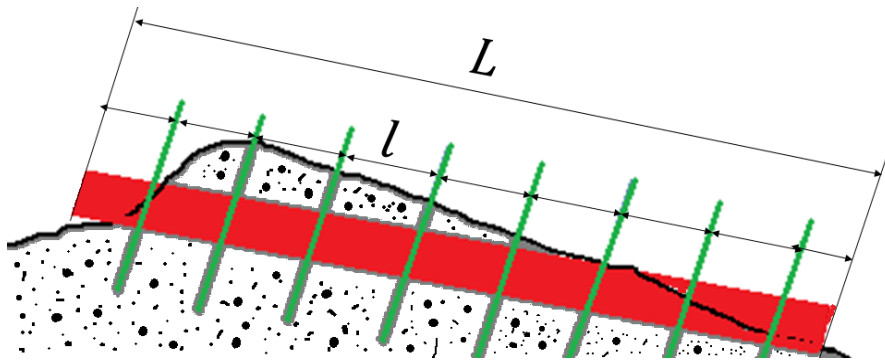
شکل (۳-۱۴) حالت دو مقطع خاکبرداری و خاکریزی (سلیمانی، ۱۳۸۴).

همانگونه که در شکل بالا ملاحظه می‌شود حجم بین دو مقطعی که یکی خاکبرداری کامل و دیگری خاکریزی کامل باشد به دو قسمت خاکبرداری و خاکریزی تقسیم می‌گردد. بنابراین باید حجم هر قسمت را با استفاده از روابط (۳-۶۸) و (۳-۶۹) به طور جداگانه و به روش مقطع متوسط حساب نمود (سلیمانی، ۱۳۸۴).

$$V_F = \frac{A_i}{2} \times L_1 \quad (68 - 3)$$

$$V_C = \frac{A_{i+1}}{2} \times L_2 \quad (69 - 3)$$

اگر فاصله بین دو مقطع را ابتدا و انتهای کانال در نظر بگیریم، با توجه به طول زیاد فاصله بین ابتدا و انتهای کانال، و همچنین تغییر ارتفاع سطح زمین در طول خط پروژه، محاسبات یافتن حجم خاکبرداری و خاکریزی با خطا همراه خواهد شد، که برای کاهش خطای محاسبات مربوط به خاکبرداری و خاکریزی، ابتدا طول حوضچه آرامش و کانال را به مترهای کوچکتر (۱ متر) تقسیم کرده و روش مقطع متوسط را برای این مقاطع با مترهای کوچکتر به کار می‌بریم. در شکل (۳-۱۵) نحوه تقسیم طول کل کانال، به مترهای کوچکتر نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۵) نمایش نحوه تقسیم فاصله‌ی طولانی مسیر کانل به طول‌های کمتر

در نهایت پس از بدست آوردن حجم کل خاکبرداری و حجم کل خاکریزی، هزینه خاکبرداری و خاکریزی با استفاده از روابط (۳-۷۰) و (۳-۷۱) بدست می‌آید.

$$Cost_{Fill} = V_{Fill} \times C_{Fill} \quad (70 - 3)$$

$$Cost_{Cut} = V_{Cut} \times C_{Cut} \quad (71 - 3)$$

که در روابط بالا: $Cost_{Fill}$ = هزینه کل خاکریزی حوضچه آرامش و کانال، $Cost_{Cut}$ = هزینه کل خاکبرداری حوضچه آرامش و کانال، V_{Fill} = حجم کل خاکریزی حوضچه آرامش و کانال، V_{Cut} = حجم کل خاکبرداری حوضچه آرامش و کانال، C_{Fill} = هزینه حجم واحد خاکریزی، C_{Cut} = هزینه حجم واحد خاکبرداری می‌باشد.

۳-۱۲-۱-۶- نحوه محاسبه هزینه کل (برای روش سازه‌ای کنترل سیل)

برای بهینه‌یابی روش سازه‌ای کنترل سیل، پس از محاسبه حجم خاکریزی بدنه سد، ابعاد کانال و احجام مربوط به مقدار پوشش و خاکبرداری و خاکریزی مربوط به کانال، در نهایت تابع هزینه برابر با مجموع هزینه ساخت سد، هزینه پوشش کانال، هزینه خاکبرداری و خاکریزی می‌شود. که نحوه محاسبه این هزینه در رابطه (۳-۷۲) نشان داده شده است.

$$Cost \text{ Function} = Cost_{Dam} + Cost_{Poshesh \ K} + Cost_{Fill \ K} + Cost_{Cut \ K} \quad (72 - 3)$$

که در بالا: $Cost Function =$ هزینه کل سیستم، $Cost_{Dam}$ = هزینه ساخت سد (یا خاکریزی سد)، $Cost_{Poshesh K}$ = هزینه پوشش حوضچه آرامش و کانال، $Cost_{Fill K}$ = هزینه خاکریزی مسیر حوضچه آرامش و کانال، $Cost_{Cut K}$ = هزینه خاکبرداری مسیر حوضچه آرامش و کانال می‌باشد.

۳-۱۲-۲- تابع شایستگی برای روش غیرسازه‌ای کنترل سیل

در این نوع بهینه‌سازی، عملیات تأمین نیاز بر روی سدی انجام می‌شود که ساخته شده است و در واقع دستورالعملی برای بهره‌برداری از مخزن می‌باشد. و از الگوریتم ژنتیک برای تعیین ظرفیت بهینه مخزن سد و همچنین بهینه‌سازی تأمین نیاز پایین‌دست استفاده شده است. تعیین خروجی از سد برای تأمین نیاز با استفاده از روش سیاست بهره‌برداری استاندارد برای مقایسه کارایی روش الگوریتم ژنتیک، استفاده شده است. که در ادامه این دو روش شرح داده خواهند شد.

۳-۱۲-۲-۱- تعیین ظرفیت بهینه مخزن سد با استفاده از الگوریتم ژنتیک

منظور از مدیریت مخزن سد، محاسبه مقدار خروجی ماهانه از سد است، به گونه‌ای که خسارت ناشی از عدم تأمین نیازهای آبی پایین‌دست یا هدررفت آب حداقل شود (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳). الگوریتم ژنتیک کروموزوم‌ها (یا مجموعه‌ی بردار متغیرهای تصمیم) را طوری انتخاب می‌کند که دارای کمترین هزینه باشند. پس هزینه در این روش باید مرتبط با تأمین نیاز پایین‌دست باشد، به نحوی که با کاهش تابع هدف (یا تابع هزینه)، نیاز پایین‌دست (نه کمتر و نه بیشتر) تأمین گیرد. هدف از این بهینه‌سازی در این تحقیق نیز، حداقل سازی میزان کمبود اعمال شده نسبت به یک نیاز مشخص با توجه به قیود و فرضیات زیر می‌باشد:

۱- نیاز آب کشاورزی در کمینه‌ی ۸۰ درصد از ماه‌ها کاملاً تأمین شود.

۲- در ماه‌هایی که نیاز کشاورزی تأمین نمی‌شود (بیشینه‌ی ۲۰ درصد ماه‌ها)، کمینه‌ی ۲۵ درصد از آب مورد نیاز کشاورزی تأمین شود.

۳- در تمامی دوره‌ها حقابه رودخانه کبودوال به طور کامل تأمین شود.

- ۴- از آب مازاد بر نیاز کشاورزی، فقط می‌توان برای نیازهای زیست محیطی استفاده کرد.
- ۵- از آب سرریزی از سد کبودوال فقط برای تأمین نیازهای زیست محیطی استفاده می‌شود.
- ۶- کمینه‌ی حجم سد (حجم مرده) بر اساس تخمین رسوبات وارده محاسبه می‌شود.
- ۷- حجم کنترل سیل مخزن در ماه‌های سیلابی، باید خالی باشد.
- ۸- حجم مخزن نباید کمتر از حداقل حجم مخزن (حجم مرده) باشد.
- ۹- خروجی از مخزن نباید بیشتر از توان حداکثر خروجی تخلیه‌کننده (بسته به سطح آب در مخزن) و همچنین نباید کمتر از حداقل خروجی (نیاز رودخانه کبودوال) باشد.
- ۱۰- حجم مخزن در شروع بهینه‌سازی معمولاً پر در نظر گرفته می‌شود (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳)، که برای سد مخزنی کبودوال برابر با تراز نرمال مخزن می‌باشد
- ۱۱- روندیابی در این روش، به روش هیدرولوژیکی ساده انجام می‌شود.
- روابط تابع هدف و قیودات مورد استفاده در این روش به شرح زیر می‌باشد:

$$\text{Minimize } Z = \left(\frac{1}{\text{Rel}} \times \sum_{i=1}^T \left[\frac{(D_{(i)} - R_{(i)})}{D_{\text{Max}}} \right]^2 \right) \times (1 + W \times \text{Violation}) \quad (73 - 3)$$

St:

$$S_{(i+1)} = S_{(i)} + I_{(i)} + P_{(i)} - R_{(i)} - ET_{(i)} - SP_{(i)} \quad (74 - 3)$$

$$S_{(1)} = S_{\text{normal}} \quad (75 - 3)$$

$$I_{(i)} = I_{\text{River Kaboodval } (i)} + I_{\text{Diversion Dam Zaringol } (i)} \quad (76 - 3)$$

$$R_{\text{Min}(i)} = \begin{cases} (0.2 \times D_{\text{Agri}(i)}) + D_{\text{River}(i)} & \text{if } SP_{(i)} = 0 \\ (0.2 \times D_{\text{Agri}(i)}) & \text{if } 0 < SP_{(i)} > D_{\text{River}(i)} \\ (0.2 \times D_{\text{Agri}(i)}) + (D_{\text{River}(i)} - SP_{(i)}) & \text{if } 0 < SP_{(i)} \leq D_{\text{River}(i)} \end{cases} \quad (77 - 3)$$

$$R_{\text{Min}(i)} \leq R_{(i)} \leq R_{\text{Max}(i)} \quad (78 - 3)$$

$$S_{\text{Max}(i)} = \begin{cases} S_{\text{Normal}} & \text{if } i = \text{Month Flood} \\ \text{violation}(S_{\text{Max}(i)}) = 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (79 - 3)$$

$$S_{\text{Min}} \leq S_{(i)} \leq S_{\text{Max}} \quad (80 - 3)$$

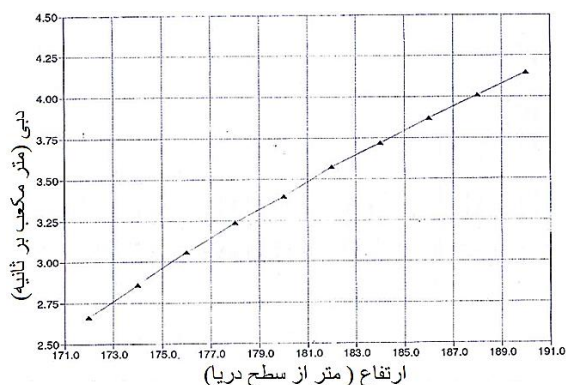
$$\alpha_{(i)} = \begin{cases} 1 & \text{if } R_{(i)} \geq D_{(i)} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (81 - 3)$$

$$Rel = \left(\frac{\sum_{i=1}^T \alpha_{(i)}}{T} \right) \times 100 \quad (82 - 3)$$

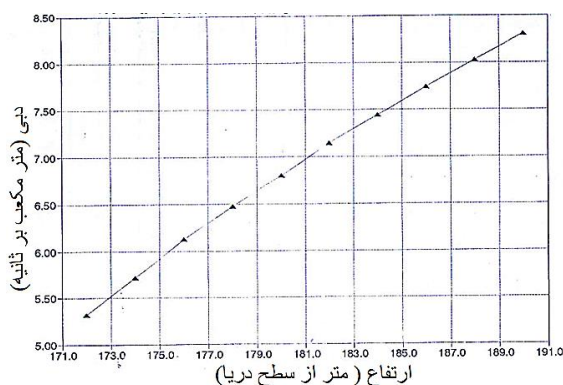
که در این روابط: Z = تابع هدف، $D_{(i)}$ = مقدار نیاز در دوره i ام، $R_{(i)}$ = مقدار خروجی در دوره i ام، D_{Max} = حداکثر نیاز در کل دوره، W = ضریب تابع جریمه که مقداری مثبت می باشد، $Violation$ = مجموع تخطی های صورت گرفته از قیود، $S_{(i+1)}$ = حجم مخزن در دوره بعد، $S_{(i)}$ = حجم مخزن در دوره i ام، $I_{(i)}$ = کل ورودی در دوره i ام، $P_{(i)}$ = مقدار بارندگی در دوره i ام، $ET_{(i)}$ = میزان تبخیر و تعرق در دوره i ام، $SP_{(i)}$ = میزان سرریزی از سد در دوره i ام، S_{normal} = حجم مخزن در تراز نرمال، $R_{Min(i)}$ = حداقل خروجی از مخزن در دوره i ام، $R_{Max(i)}$ = حداکثر خروجی از مخزن در دوره i ام، S_{Min} = حداقل حجم مخزن، $S_{Max(i)}$ = حداکثر حجم مخزن در دوره i ام، $\alpha_{(i)}$ = متغیر صفر و یک برای دوره i ام، Rel = درصد تأمین نیازسیستم و T = تعداد کل ماه های بهره برداری می باشد.

البته خروجی هایی که برای تأمین نیاز اختصاص داده می شوند، باید کمتر مساوی حداکثر ظرفیت تخلیه کننده های تحتانی باشند. همچنین مقدار خروجی در نظر گرفته نباید بیشتر از حجم فعال مخزن (فاصله حجم مرده تا سطح آب) باشد.

برای محاسبه حداکثر خروجی از هر تخلیه کننده تحتانی از سد کبودوال با توجه به وجود دو آبگیر در سد کبودوال و همچنین دارا بودن ارتفاع های مختلف در قمست ورودی، حداکثر خروجی این دو نیز متفاوت می باشد. اگر ارتفاع آب در مخزن بیشتر از ۱۷۵ متر از سطح دریا باشد، می توان از هر دو آبگیر استفاده کرد، ولی در ارتفاع های آب کمتر از این مقدار، باید فقط از آبگیر اول استفاده کرد. حداکثر خروجی از تخلیه کننده تحتانی در شرایط استفاده از هر دو لوله آبگیر و همچنین در شرایط یک لوله آبگیر از روی نمودارهای شکل های (۳-۱۶) و (۳-۱۷) به دست می آید. که برای استفاده از این دو نمودار نیز ابتدا با استفاده از نرم افزار Engauge Digitize داده هایشان رقومی شده و سپس در برنامه استفاده می شود.



شکل (۳-۱۷) ظرفیت تخلیه دو شیر در رقوم‌های مختلف بهره‌برداری از مخزن سد کبودوال



شکل (۳-۱۶) ظرفیت تخلیه یک شیر در رقوم‌های مختلف بهره‌برداری از مخزن سد کبودوال

همچنین همانطور که گفته شد، برای بهره‌برداری در ماه‌های سیلابی، نباید حجم مخزن بیشتر از رقوم نرمال باشد. این محدودیت به این دلیل در نظر گرفته می‌شود که مخزن در این ماه‌ها توانایی کنترل سیل‌های ورودی احتمالی را داشته باشد.

۳-۱۲-۲-۲- تعیین مقدار خروجی با استفاده از روش سیاست بهره‌برداری استاندارد

در این سیاست، رهاسازی از مخزن فقط بر اساس حجم آب ذخیره موجود در هر دوره انجام می‌شود. اگر آب در دسترس (مجموع آورد رودخانه و حجم ذخیره مخزن) کمتر از میزان کل نیاز باشد، همان میزان آب در دسترس رها سازی می‌شود و مخزن خالی می‌گردد. اما اگر آب در دسترس بیش از نیاز موجود باشد، میزان رها سازی برابر با مقدار نیاز خواهد بود و آب مازاد در مخزن ذخیره می‌شود و در صورت پر شدن مخزن سرریز خواهد کرد. پس از تعیین خروجی با استفاده از روش بهره‌برداری استاندارد، برای مقایسه کارایی روش‌های بهره‌برداری استاندارد و الگوریتم ژنتیک نسبت به هم، از یک تابع هدف یکسان (رابطه ۳-۵۸)، برای دو روش استفاده می‌شود.

۳-۱۲-۳- قابلیت اعتمادپذیری

برای بررسی مقدار تأمین نیاز روش بهره‌برداری مورد نظر و همچنین برای مقایسه دو روش بهره‌برداری استاندارد و الگوریتم ژنتیک از قابلیت اطمینان مخزن استفاده شده است. که احتمال تأمین نیاز مشخصی از مخزن را در طول دوره بهره‌برداری قابلیت اعتماد مخزن می‌نامند (نشریه شماره ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳). میزان قابلیت اعتمادپذیری سیستم، عبارت از نسبت تعداد ماه‌هایی که مقدار نیاز به طور کامل برآورده شده به تعداد کل ماه‌ها می‌باشد، که از رابطه (۳-۸۴) بدست می‌آید.

$$\alpha_i = \begin{cases} 0 & \text{if } R_i < D_i \\ 1 & \text{if } R_i \geq D_i \end{cases} \quad (83-3)$$

$$Reliability = \left(\frac{\sum_{i=1}^T \alpha_i}{T} \right) \times 100 \quad (84-3)$$

که در این روابط: α_i = متغیر صفر و یک برای ماه i ام، i شمارنده ماه بهره‌برداری، R_i = مقدار خروجی از سد برای نیاز ماه i ام، D_i = مقدار نیاز ماه i ام، $Reliability$ = قابلیت اعتمادپذیری، T = تعداد کل ماه‌های بهره‌برداری.

۳-۱۳- حل مسائل بهینه‌سازی دارای محدودیت با استفاده از الگوریتم ژنتیک

وجود محدودیت در مسائل بهینه‌سازی، می‌تواند پیچیدگی‌های خاصی به حل مسائل بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک اضافه نماید. رویکردهای متفاوتی برای مجزاسازی و نحوه استفاده از پاسخ‌های مجاز و غیرمجاز (پاسخ‌های واقع شده در خارج از فضای تصمیم مجاز مسئله) مورد توجه قرار گرفته است. یک رویکرد در این زمینه استفاده از روش تابع جریمه می‌باشد (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳). استفاده از توابع پنالتی امکان تبدیل مسائل بهینه‌سازی محدودیت‌دار را به مسائل بهینه‌سازی بدون محدودیت فراهم می‌کند. تابع جریمه به روش زیر به تابع هدف افزوده می‌شود:

۱- تعریف تخطی برای هر قید به صورت مجزا.

۲- تجمیع نتایج تخطی‌ها برای تمام قیدها.

۳- ایجاد تابع هدف دارای جریمه با استفاده از رویکردهایی که در ادامه شرح داده خواهند شد.

ساده‌ترین شکل استفاده از پنالتی، تغییر تابع هدف مسئله بهینه‌سازی مقید، به یک مسئله نامقید، به شکل رابطه (۸۵-۳) است.

$$\text{eval}(\bar{x}) = f(\bar{x}) + \alpha \times \text{Violation}(\bar{x}) \quad \text{و} \quad \alpha > 0 \quad (85 - 3)$$

در معادله فوق، $\text{eval}(\bar{x})$ ، مقدار تابع هدف، $\text{Violation}(\bar{x})$ نشان‌دهنده پنالتی یا جریمه تخصیص داده شده و $f(\bar{x})$ مقدار تابع برازش تخصیص داده شده به پاسخ P است. در صورتی که پاسخ $\bar{x}$ در فضای مجاز مسئله واقع شده باشد، $\text{Violation}(\bar{x})$ مساوی صفر در نظر گرفته می‌شود. شکل دیگری از اعمال پنالتی به صورت رابطه (۸۶-۳) می‌باشد.

$$\text{eval}(\bar{x}) = f(\bar{x}) \times (1 + \beta \times \text{Violation}(\bar{x})) \quad \text{و} \quad \beta > 0 \quad (86 - 3)$$

در این حالت، در صورتی که تخطی از محدودیت‌ها صورت نگیرد، $\text{Violation}(\bar{x})$ مساوی صفر و در غیر این صورت مقدار آن، عددی بزرگتر از یک در نظر گرفته می‌شود (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳). نحوه اعمال قیدهای تساوی و نامساوی به صورت رابطه‌های (۸۷-۳) تا (۸۹-۳) می‌باشد.

برای قیدهای بزرگتر مساوی در صورتی تخطی داریم که:

$$\text{Violation}\{g \geq g_0\} = \begin{cases} 0 & \text{if } g \geq g_0 \\ + & \text{if } g < g_0 \end{cases} \quad (87 - 3)$$

و برای قید کوچکتر مساوی در صورتی تخطی داریم که:

$$\text{Violation}\{g \leq g_0\} = \begin{cases} 0 & \text{if } g \leq g_0 \\ + & \text{if } g > g_0 \end{cases} \quad (88 - 3)$$

و برای قید مساوی داریم:

$$\text{Violation}\{h = h_0\} = \begin{cases} + & \text{if } h > h_0 \\ 0 & \text{if } h = h_0 \\ + & \text{if } h < h_0 \end{cases} \quad (89 - 3)$$

۳-۱۳-۱- نحوه اعمال قیدهای مربوط به روش سازه‌ای

الف- تابع جریمه تخلف از حداکثر ارتفاع سد: اگر الگوریتم ژنتیک برای متغیرهای طراحی پاسخی (مجموعه‌ی ژن‌های موجود در یک کروموزوم) تولید کرد، که نتیجه‌ی آن حاصل شدن سدی با ارتفاعی بیشتر از حداکثر ارتفاع مجاز سد باشد، با اعمال جریمه‌ای به مقدار تابع هدف حاصل از آن کروموزوم، از رتبه آن کروموزوم تولید شده کاسته می‌شود (چون بهینه‌یابی از نوع مینیمم‌سازی است، با افزایش هزینه یک کروموزوم، رتبه آن کاهش می‌یابد)، تا در تکرارهای بعدی احتمال انتخاب شدن آن کروموزوم کاهش یابد. نحوه تعریف تابع جریمه برای تخلف از قید حداکثر ارتفاع مجاز سد، به صورت رابطه (۳-۹۰) می‌باشد.

$$\text{Violation}\{H_{\text{Dam}} \leq H_{\text{MaxDam}}\} = \begin{cases} 0 & \text{if } H_{\text{Dam}} \leq H_{\text{MaxDam}} \\ \left(\frac{H_{\text{Dam}}}{H_{\text{MaxDam}}}\right) - 1 & \text{if } H_{\text{Dam}} > H_{\text{MaxDam}} \end{cases} \quad (90-3)$$

برای مابقی قیدهای مسئله نیز همانند روش تعریف تابع پناستی برای قید حداکثر ارتفاع مجاز سد، انجام می‌شود و در ادامه نحوه تعریف تابع جریمه برای قیدهای طراحی شرح داده شده است.

ب- تابع جریمه تخلف از حداقل ارتفاع سد: اگر ارتفاع سد کمتر از حداقل ارتفاع مجاز سد شود، با استفاده از رابطه (۳-۹۱)، به مقدار تابع هدف جریمه افزوده می‌گردد.

$$\text{Violation}\{H_{\text{Dam}} \geq H_{\text{MinDam}}\} = \begin{cases} 0 & \text{if } H_{\text{Dam}} \geq H_{\text{MinDam}} \\ 1 - \left(\frac{H_{\text{Dam}}}{H_{\text{MinDam}}}\right) & \text{if } H_{\text{Dam}} < H_{\text{MinDam}} \end{cases} \quad (91-3)$$

پ- تابع جریمه تخلف از شیب منفی و شیب صفر: اگر شیب کانال منفی یا صفر گردد، با استفاده از رابطه (۳-۹۲) به مقدار تابع هدف جریمه‌ای افزوده می‌گردد.

$$\text{Violation}\{S_{\text{Channel}} > 0\} = \begin{cases} 0 & \text{if } S_{\text{Channel}} > 0 \\ 1 - \left(\frac{S_{\text{Channel}}}{\text{realmin}}\right) & \text{if } S_{\text{Channel}} < 0 \end{cases} \quad (92-3)$$

کوچکترین عدد مثبت در متلب با $realmin$ نشان داده می‌شود. که اگر شیب کمتر از این مقدار باشد (صفر یا منفی)، به آن تخطی تعلق می‌گیرد. در واقع با این روش هر چقدر شیب منفی‌تر، مقدار وایولیشن هم بیشتر. ولی اگر بجای $realmin$ صفر بگذاریم، برای همه‌ی جواب‌های منفی، مقدار بی‌نهایت را بر می‌گرداند، که در روند برنامه اخلال ایجاد می‌شود و در تقسیم‌ها خطا می‌دهد.

ت-تابع جریمه تخلف از حداکثر سرعت مجاز در کانال‌های آبیاری: اگر سرعت در کانال بیشتر از حداکثر سرعت مجاز شود، با استفاده از رابطه (۳-۹۳)، به مقدار تابع هدف جریمه افزوده می‌گردد.

$$Violation\{V_{Channel} \leq V_{MaxChannel}\} = \begin{cases} 0 & \text{if } V_{Channel} \leq V_{Max} \\ \left(\frac{V_{Channel}}{V_{Max}}\right) - 1 & \text{if } V_{Channel} > V_{Max} \end{cases} \quad (93 - 3)$$

ث-تابع جریمه تخلف از حداقل سرعت مجاز در کانال‌های آبیاری: اگر سرعت در کانال کمتر از حداکثر سرعت مجاز شود، با استفاده از رابطه (۳-۹۴)، به مقدار تابع هدف جریمه افزوده می‌گردد.

$$Violation\{V_{Channel} \geq V_{MinChannel}\} = \begin{cases} 0 & \text{if } V_{Channel} \geq V_{Min} \\ 1 - \left(\frac{V_{Channel}}{V_{Min}}\right) & \text{if } V_{Channel} < V_{Min} \end{cases} \quad (94 - 3)$$

ج-تابع جریمه تخلف از حداقل عدد فرود در کانال‌های انتقال آب: اگر عدد فرود کانال، کمتر از حداقل عدد فرود مجاز شود، با استفاده از رابطه (۳-۹۵)، به مقدار تابع هدف جریمه افزوده می‌گردد.

$$Violation\{Fr_{Channel} \geq Fr_{MinChannel}\} = \begin{cases} 0 & \text{if } Fr_{Channel} \geq Fr_{Min} \\ 1 - \left(\frac{Fr_{Channel}}{Fr_{Min}}\right) & \text{if } Fr_{Channel} < Fr_{Min} \end{cases} \quad (95 - 3)$$

چ-تابع جریمه تخلف از حداقل دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی

با توجه به اینکه کمترین ظرفیت تخلیه‌کننده عمقی در تراز کمینه بهره‌برداری، باید برابر با بیشینه درازمدت آبدهی ماهانه کم آب‌ترین ماه باشد (نشریه شماره ۵۲۱ وزارت نیرو، ۱۳۸۸)، قیدی به صورت

زیر برای تخلف از این حجم آب، تنظیم شده است. البته چون در تراز کمینه بهره‌برداری سد کبودوال، فقط می‌توان از یک لوله آبگیر استفاده نمود، این دبی متناظر است با دبی که از آبگیر اول در تراز کمینه خارج می‌شود.

$$\text{Violation}\{Q_{\text{Outlet}} \geq Q_{\text{MinOutlet}}\} = \begin{cases} 0 & \text{if } Q_{\text{Outlet}} \geq Q_{\text{Min}} \\ 1 - \left(\frac{Q_{\text{Outlet}}}{Q_{\text{Min}}}\right) & \text{if } Q_{\text{Outlet}} < Q_{\text{Min}} \end{cases} \quad (96 - 3)$$

ح-تابع جریمه تخلف از حداکثر دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی

دبی با دوره بازگشت ۲۵ ساله که از آن برای پهنه‌بندی سیلاب رودخانه کبودوال استفاده شده است برابر با ۸۰,۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (شعبانلو و همکاران، ۱۳۸۷)، که از این دبی به عنوان قید حداکثر دبی قابل تحمل رودخانه کبودوال استفاده شده است

$$\text{Violation}\{Q_{\text{Outlet}} \leq Q_{\text{MaxOutlet}}\} = \begin{cases} 0 & \text{if } Q_{\text{Outlet}} \leq Q_{\text{max}} \\ \left(\frac{Q_{\text{Outlet}}}{Q_{\text{max}}}\right) - 1 & \text{if } Q_{\text{Outlet}} > Q_{\text{max}} \end{cases} \quad (97 - 3)$$

خ-تابع جریمه تخلف از حداکثر سرعت در تخلیه‌کننده تحتانی

حداکثر سرعت مجاز در تخلیه‌کننده تحتانی، ۴۰ متر بر ثانیه می‌باشد (بیرامی، ۱۳۹۱). اگر سرعت در تخلیه‌کننده تحتانی بیشتر از این مقدار گردد، توسط رابطه (۹۸-۳) به تابع هدف جریمه‌ای تعلق می‌گیرد.

$$\text{Violation}\{V_{\text{Outlet}} \leq V_{\text{MaxOutlet}}\} = \begin{cases} 0 & \text{if } V_{\text{Outlet}} \leq V_{\text{max}} \\ \left(\frac{V_{\text{Outlet}}}{V_{\text{max}}}\right) - 1 & \text{if } V_{\text{Outlet}} > V_{\text{max}} \end{cases} \quad (98 - 3)$$

۳-۱۳-۲- نحوه اعمال قیدهای مربوط به بهینه‌یابی روش غیرسازهای

مقدار تخطی از قیدهای حداقل خروجی (R_{Min}) و حداکثر خروجی (R_{Max})، حداقل حجم مخزن

(S_{Min}) و حداکثر حجم مخزن (S_{Max}) با استفاده از روابط (۳-۹۹) تا (۳-۱۰۲) بدست می‌آید.

$$Violation\{R \geq R_{Min}\} = \begin{cases} 0 & \text{if } R \geq R_{Min} \\ 1 - \left(\frac{R}{R_{min}}\right) & \text{if } R < R_{Min} \end{cases} \quad (99 - 3)$$

$$Violation\{R \leq R_{Max}\} = \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq R_{Max} \\ \left(\frac{R}{R_{Max}}\right) - 1 & \text{if } R > R_{Max} \end{cases} \quad (100 - 3)$$

$$Violation\{S \geq S_{Min}\} = \begin{cases} 0 & \text{if } S \geq S_{Min} \\ 1 - \left(\frac{S}{S_{min}}\right) & \text{if } S < S_{Min} \end{cases} \quad (101 - 3)$$

$$Violation\{S \leq S_{Max}\} = \begin{cases} 0 & \text{if } S \leq S_{Max} \\ \left(\frac{S}{S_{Max}}\right) - 1 & \text{if } S > S_{Max} \end{cases} \quad (102 - 3)$$

در انتها پس از محاسبه همه تخطی‌ها، باید آنها را به تابع هدف اضافه نماییم (با یکی از دو روش جمع‌شونده و ضرب‌شونده)، که با دو حالت می‌توان این کار را انجام داد. یک روش، به این نحو می‌باشد که مجموع همه تخطی‌ها را به تابع هدف اضافه کنیم و در روش دیگر میانگین تمام تخطی‌ها به تابع هدف اضافه می‌شود. که در این تحقیق مجموع مقدار تمام تخطی‌ها به تابع هدف اضافه می‌شود. که فرمول کلی تابع هدف در رابطه (۳-۱۰۳) ارائه شده است.

$$Z = Z \times (1 + W \times Violation) \quad (103 - 3)$$

مقدار W ضریب تابع جریمه می‌باشد، که از جمله پارامترهای قابل تنظیم و تغییر، در برنامه نوشته‌شده می‌باشد. مقدار W به این دلیل به تابع جریمه اضافه می‌شود، که اگر تابع هدف دارای تخطی باشد، مقدار تابع هدف چند برابر می‌شود. که با چند برابر شدن مقدار تابع هدف نسبت به توابع هدفی که دارای مقداری کمتر هستند، احتمال انتخاب آن برای اعمال عملگرهای ترکیب و جهش کاهش می‌یابد.

۳-۱۴- الگوریتم اجرای کل برنامه

در انتها روال انجام این تحقیق برای الگوریتم ژنتیک و نحوه محاسبه هزینه روش سازه‌ای و غیرسازه‌ای بصورت خلاصه و الگوریتم‌وار در ادامه شرح داده شده است.

۳-۱۴-۱- الگوریتم یا روال کلی اجرای برنامه الگوریتم ژنتیک

- ۱- تولید جمعیت تصادفی کروموزوم‌ها (بردار پاسخ‌های تصادفی برای متغیرهای طراحی)
- ۲- محاسبه هزینه هر کروموزوم تولید شده در مرحله قبل (در تابع هدف)
- ۳- مرتب شدن کروموزوم‌ها بر حسب هزینه از کمترین به بیشترین
- ۴- گرفتن احتمال انتخاب هر کروموزوم بر حسب مقدار تابع هدف
- ۵- انتخاب کروموزوم برای اجرای عملگر ترکیب
- ۶- ترکیب دو والد انتخاب شده و تولید دو فرزند جدید در عملگر ترکیب
- ۷- انتخاب تصادفی یک ژن (متغیر) و تغییر تصادفی مقدار آن و تولید یک فرزند جدید توسط عملگر جهش
- ۸- محاسبه هزینه کروموزوم‌های تولید شده در عملگرهای ترکیب و جهش
- ۹- ادغام کروموزوم‌های تولیدی توسط عملگرهای جهش و ترکیب با کروموزوم‌های تولید شده در نسل قبل و مرتب کردن آنها طبق هزینه از کمترین به بیشترین
- ۱۰- اگر شرط توقف برآورده شده باشد، توقف می‌شود و اگر برآورده نشده باشد، الگوریتم از مرحله ۴ تکرار می‌گردد.

۳-۱۴-۲- الگوریتم نحوه محاسبه هزینه هر کروموزوم (بردار پاسخ برای متغیرها) در روش

سازه‌ای

- ۱- تبدیل متغیرهای خام تولیدی الگوریتم ژنتیک (بین صفر و یک) به متغیرهای مسئله.
- ۲- محاسبه شیب کانال از روی رقوم تولیدی ابتدا و انتهای کانال.
- ۳- روندیابی سیل در مخزن با توجه به سطح مقطع پیشنهادی، و بدست آوردن حداکثر حجم سیل در مخزن، و همچنین بدست آوردن حداکثر خروجی از مخزن.
- ۴- محاسبه ارتفاع نهایی سد که برابر است با مجموع ارتفاع نرمال آب در مخزن، ارتفاع حداکثر حجم کنترل سیل، ارتفاع سرریز، ارتفاع آزاد.
- ۵- محاسبه حجم خاکریزی سد.
- ۶- طراحی کانال با توجه به حداکثر دبی خروجی از سد (حداکثر دبی که از روندیابی بدست می‌آید).
- ۷- محاسبه حجم پوشش کانال از روی حداکثر دبی و سطح مقطع کانال.
- ۸- محاسبه حجم خاکبرداری و خاکریزی، با بررسی اینکه رقوم کف کانال نسبت به رقوم زمین در چه وضعیتی قرار گرفته است.
- ۹- محاسبه اینکه آیا در طراحی‌های صورت گرفته، از قیده‌های طراحی تخلفی صورت گرفته یا خیر و محاسبه مقدار تخلف.
- ۱۰- محاسبه هزینه کل سیستم که برابر با مجموع هزینه سد، هزینه پوشش و هزینه خاکبرداری و خاکریزی می‌باشد.
- ۱۱- محاسبه مقدار تابع هدف، که عبارت از ضرب هزینه کل سیستم در مجموع مقدار تخلف صورت گرفته از قیود می‌باشد.

۳-۱۴-۳- الگوریتم نحوه محاسبه هزینه هر کروموزوم (بردار پاسخ برای متغیرها) در روش

غیرسازهای

- ۱- تبدیل متغیرهای خام تولیدی الگوریتم ژنتیک (بین صفر و یک) به متغیرهای مسئله.
- ۲- روندیابی مخزن با توجه به تغییرات ماهانه
- ۳- بررسی و محاسبه مقدار تخلف صورت گرفته از قیود
- ۴- محاسبه مقدار تابع هدف
- ۵- محاسبه هزینه کل، که برابر با ضرب مقدار تابع هدف در مجموع مقدار تخطی از قیود می‌باشد.

فصل ۲

نتایج و بحث

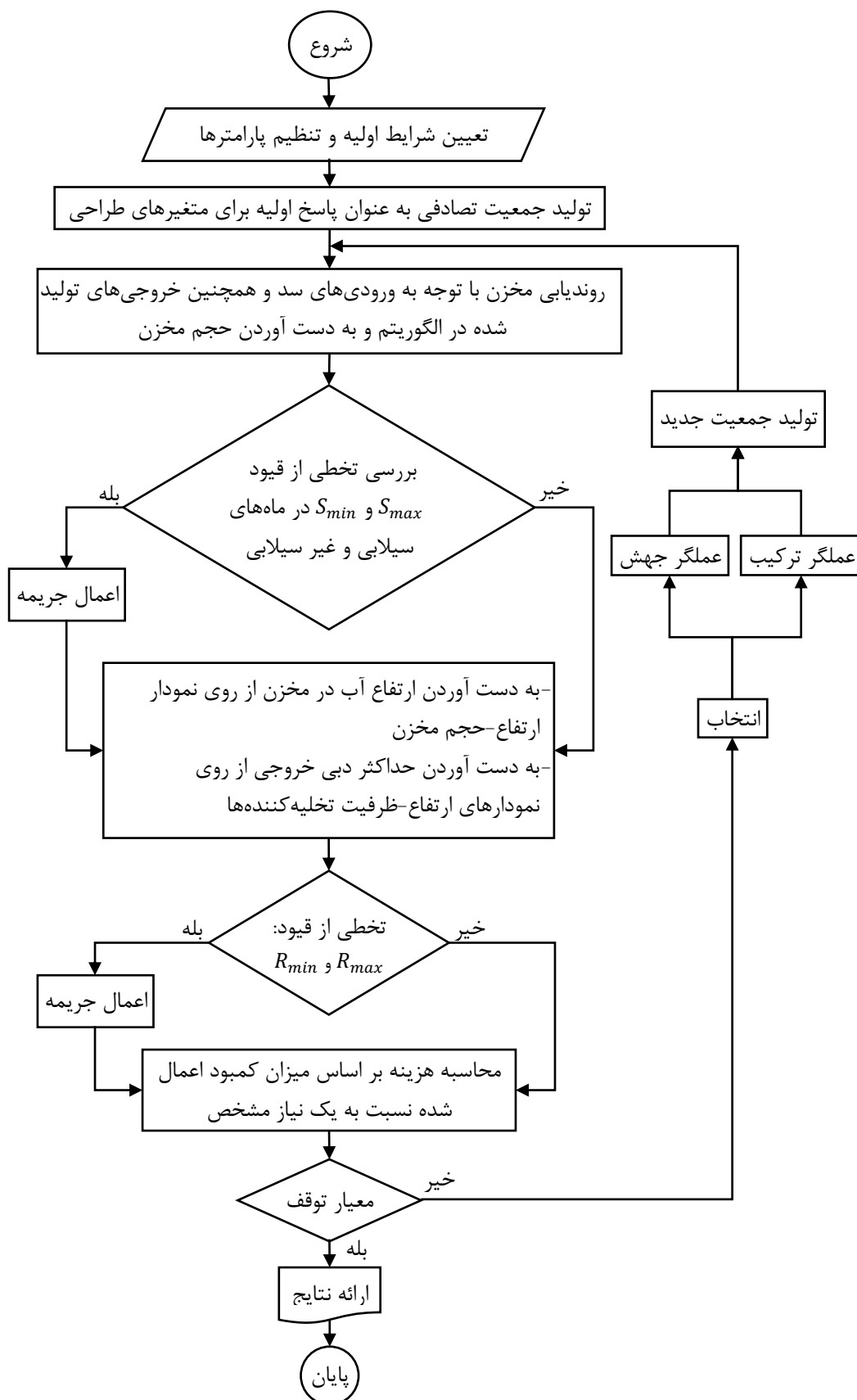
۴-۱- مقدمه

در این فصل نتایج به دست آمده از این تحقیق به همراه تحلیل مربوط به آنها ارائه می‌گردد. نتایج را می‌توان در چند بخش زیر خلاصه نمود:

- بهینه‌سازی تأمین نیاز ماهانه پایین‌دست سد کبودوال با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای ۶۰ ماه.
- نحوه تعیین خروجی ماهانه برای تأمین نیازهای پایین‌دست سد کبودوال با استفاده از روش بهره‌برداری استاندارد و ارائه خروجی‌های این روش برای ۶۰ ماه.
- مقایسه دو روش بهره‌برداری (روش بهره‌برداری استاندارد و بهره‌برداری با الگوریتم ژنتیک).
- بهینه‌سازی به روش سازه‌ای کنترل سیل سد مخزنی کبودوال با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مقایسه نتایج آن با سد اجرا شده در کبودوال.
- بهینه‌سازی و شبیه‌سازی سیستم کنترل سیل سد کبودوال با استفاده از الگوریتم ژنتیک.

۴-۲- تعیین ظرفیت بهینه مخزن سد با استفاده از الگوریتم ژنتیک

منظور از مدیریت مخزن سد، محاسبه مقدار خروجی ماهانه از سد است به گونه‌ای که خسارت ناشی از عدم تأمین نیازهای آبی پایین‌دست یا هدررفت آب حداقل شود (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳). همانطور که در بخش (۳-۳-۱) گفته شد، متغیرهای تصمیم در این روش بهینه‌سازی برای الگوریتم ژنتیک، خروجی ماهانه از سد می‌باشد. هدف از این بهینه‌سازی در این تحقیق، حداقل سازی میزان کمبود اعمال شده نسبت به یک نیاز مشخص می‌باشد (زینلی و همکاران، ۱۳۹۴). الگوریتم بهینه‌یابی بهره‌برداری از مخزن کبودوال با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.



شکل (۴-۱) فلوچارت بهینه‌سازی روش غیرسازهای سیستم کنترل سیل

۴-۲-۱- نتیجه اجرای روش الگوریتم ژنتیک برای تعیین خروجی‌های ماهانه سد کبودوال یا

تأمین نیاز پایین دست (بدون در نظر گرفتن حجمی برای کنترل و ذخیره سیل)

پس از کد نویسی این روش در متلب و اتصال این برنامه به کدهای الگوریتم ژنتیک، برنامه با تعداد متغیر و نوع الگوریتم ژنتیک ثابت (جدول ۴-۱)، و با تعداد تکرار و تعداد جمعیت‌های مختلف اجرا، و نتایج مقدار درصد تأمین نیاز و همچنین مقدار تابع هدف این روش، برای یافتن تعداد تکرار و تعداد جمعیت مورد نیاز برای رسیدن به بهینه سراسری، در جدول (۴-۲) ذکر شده است. در جدول (۴-۱) نوع الگوریتم مورد استفاده و همچنین مقادیر برخی پارامترهای آن ذکر شده است.

جدول (۴-۱) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده (بدون در نظر گرفتن حجمی برای کنترل و ذخیره سیل).

پارامتر	مقدار یا نوع
تعداد متغیر	۶۰ تا (ماه)
نرخ ترکیب	۰/۸
نرخ جهش	۰/۳
درصد جهش	۰/۰۲
نحوه انتخاب	رقابتی با (m=3)
نوع جایگزینی	شایسته سالار

جدول (۴-۲) نتایج تغییر تعداد جمعیت و تغییر تکرار بر مقدار تابع هدف و تأمین نیاز.

تعداد جمعیت و تکرار	مقدار تابع هدف	درصد تأمین نیاز	وضعیت تخطی
تعداد جمعیت ۱ تعداد تکرار ۱	۷۳۲/۲۸	٪ ۷۸/۳۳	دارای تخطی
تعداد جمعیت ۱۰ تعداد تکرار ۱۰	۱۷/۶۲	٪ ۶۳/۳۳	دارای تخطی
تعداد جمعیت ۲۰ تعداد تکرار ۲۰	۵/۵۱	٪ ۵۶	دارای تخطی
تعداد جمعیت ۱ تعداد تکرار ۱۰۰	۱۴۹۱/۴۳	٪ ۶۶/۶۶	دارای تخطی
تعداد جمعیت ۱۰۰ تعداد تکرار ۱	۲۴/۵۲	٪ ۶۱/۶۶	دارای تخطی
تعداد جمعیت ۱۰ تعداد تکرار ۱۰۰	۱/۱	٪ ۶۵	دارای تخطی

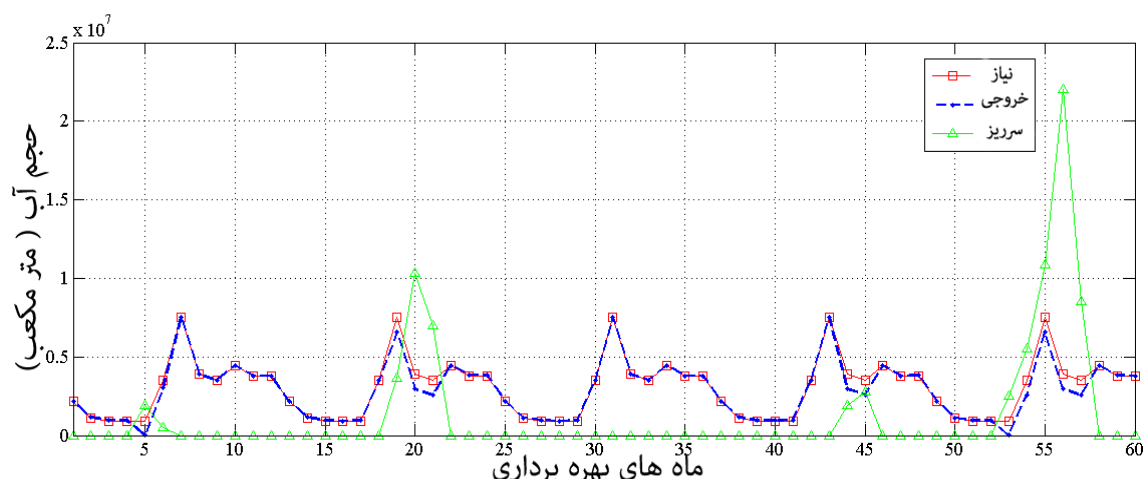
تعداد جمعیت ۱۰۰ تعداد تکرار ۱۰	۰/۹۲	٪ ۷۳/۳۳	دارای تخطی
تعداد جمعیت ۲۰ تعداد تکرار ۱۰۰	۰/۰۴۵	٪ ۶۵	قابل قبول
تعداد جمعیت ۱۰۰ تعداد تکرار ۲۰	۰/۱۱	٪ ۶۸/۳۳	دارای تخطی
تعداد جمعیت ۳۰ تعداد تکرار ۱۰۰	۰/۰۹	٪ ۷۱/۶۶	دارای تخطی
تعداد جمعیت ۱۰۰ تعداد تکرار ۳۰	۰/۰۵۴	٪ ۵۶/۶۶	قابل قبول
تعداد جمعیت ۴۰ تعداد تکرار ۱۰۰	۰/۰۳	٪ ۷۱/۶۶	قابل قبول
تعداد جمعیت ۱۰۰ تعداد تکرار ۴۰	۰/۰۳۴	٪ ۷۶/۶۶	دارای تخطی
تعداد جمعیت ۵۰ تعداد تکرار ۱۰۰	۰/۰۲۸	٪ ۷۸/۳۳	قابل قبول
تعداد جمعیت ۱۰۰ تعداد تکرار ۵۰	۰/۰۳۹	٪ ۷۱/۶۶	قابل قبول
تعداد جمعیت ۶۰ تعداد تکرار ۱۰۰	۰/۰۴۲	٪ ۷۱/۶۶	قابل قبول
تعداد جمعیت ۱۰۰ تعداد تکرار ۶۰	۰/۰۳۳	٪ ۷۵	قابل قبول
تعداد جمعیت ۷۰ تعداد تکرار ۱۰۰	۰/۰۳۱	٪ ۷۸/۳۳	قابل قبول
تعداد جمعیت ۱۰۰ تعداد تکرار ۷۰	۰/۰۲۱	٪ ۸۰	قابل قبول
تعداد جمعیت ۸۰ تعداد تکرار ۱۰۰	۰/۰۲۳	٪ ۷۶/۶۶	قابل قبول
تعداد جمعیت ۱۰۰ تعداد تکرار ۸۰	۰/۰۲۶	٪ ۷۸/۳۳	قابل قبول
تعداد جمعیت ۹۰ تعداد تکرار ۱۰۰	۰/۰۲۳	۷۸,۳۳٪	قابل قبول
تعداد جمعیت ۱۰۰ تعداد تکرار ۹۰	۰/۰۲۴	٪ ۸۰	قابل قبول
تعداد جمعیت ۱۰۰ تعداد تکرار ۱۰۰	۰/۰۲۶	٪ ۷۶/۶۶	قابل قبول
تعداد جمعیت ۱۰۰ تعداد تکرار ۱۰۰	۰/۰۲	٪ ۷۶/۶۶	قابل قبول

تعداد جمعیت ۱۰۰	تعداد تکرار ۱۰۰۰	۰/۰۰۰۰۶۶	٪ ۱۰۰	قابل قبول
تعداد جمعیت ۱۵۰	تعداد تکرار ۱۵۰۰	۰/۰۰۰۰۰۴۵	٪ ۱۰۰	قابل قبول

در این الگوریتم بهینه‌سازی، با این پیش‌فرض که تخطی از قیود به منزله شکست در سیستم می‌باشد، جواب‌هایی بهتر هستند که تخطی از قیود ندارند، حتی اگر دارای مطلوبیت کمتری نسبت به جواب‌هایی که دارای تخطی هستند داشته باشند.

همانطور که از نتایج تغییر تعداد تکرار و همچنین تغییر تعداد جمعیت اولیه در جدول (۴-۲) مشخص است، تعداد بالای تکرار و جمعیت اولیه، منجر به بهبود جواب می‌شود. البته به دلیل ماهیت تصادفی بودن تولید داده‌های اولیه (که ممکن است خوب باشد یا نامناسب) و همچنین تصادفی بودن نحوه انتخاب کروموزوم، تصادفی بودن مقدار ترکیب والدین و همچنین تصادفی بودن مکان اثر جهش، هیچ تضمینی نیست که افزایش تعداد تکرار و جمعیت، منجر به بهبود نتایج گردد، ولی به طور کلی تعداد تکرارهای زیاد و جمعیت‌های بالا به دلیل تاثیر بیشتر اثر عملگرهای ترکیب و جهش بر روی کروموزوم‌های مطلوب هر نسل، منجر به بهبود نتایج می‌شود.

در نهایت، تعداد تکرار ۱۵۰۰ و جمعیت ۱۵۰ به دلیل ارائه پاسخ مناسب به عنوان مقادیر مناسب انتخاب شدند. در شکل (۴-۲) نتیجه‌ی خروجی‌های بهترین کروموزوم (تعداد تکرار ۱۵۰۰ و تعداد جمعیت ۱۵۰)، برای ۶۰ ماه بهره‌برداری (مقدار نیاز، سرریز و خروجی در نظر گرفته شده، برای تأمین نیاز پایین‌دست) نشان داده شده است.



شکل (۴-۲) نمایش خروجی‌های مدل الگوریتم ژنتیک (خروجی، نیاز، سرریز).

حداقل تأمین نیاز قابل قبول برای نیاز کشاورزی ۷۵٪ می‌باشد (نشریه شماره ۲۷۲ وزارت نیرو، ۱۳۸۳). همانطور که از جدول (۴-۲) مشخص است، درصد تأمین نیاز در روش بهینه‌یابی شده، برابر با ۱۰۰ می‌باشد، که نشان دهنده‌ی کارایی بالای سد کبودوال در تأمین نیاز پایین‌دست خود می‌باشد. از نتایج خروجی‌های بهینه شده در شکل (۴-۲)، می‌توان نتیجه گرفت که حتی اگر از مخزن سرریز رخ دهد، از تخلیه‌کننده تحتانی، برای تأمین نیاز کشاورزی، باید خروجی به اندازه تأمین نیاز در نظر بگیریم. این بدان دلیل است که، سرریز سد کبودوال از نوع اضطراری است و حجم آب سرریزی از آن، هیچ نقشی در تأمین نیاز کشاورزی پایین‌دست خود ندارد و آب سرریزی مستقیماً به رودخانه کبودوال جاری می‌شود.

همچنین همانطور که از شکل (۴-۲) مشخص است، در ماه‌هایی که سرریزی از سد رخ نمی‌دهد، الگوریتم مقدار خروجی از سد را دقیقاً برابر با تأمین نیاز پایین‌دست (۹۵ درصد نیاز کشاورزی و ۱۰۰ درصد نیاز رودخانه کبودوال)، ارائه کرده است.

برای مقایسه کارایی الگوریتم ژنتیک در زمینه تأمین نیاز، از روش بهره‌برداری استاندارد در این زمینه استفاده شده است که در ادامه این روش شرح داده شده است.

۴-۲-۲- تعیین خروجی‌های سد کبودوال به روش بهره‌برداری استاندارد

همانطور که در بخش (۳-۱۲-۲-۲) بیان شد در این سیاست، رهاسازی از مخزن فقط بر اساس حجم آب ذخیره موجود در هر دوره انجام می‌شود. اگر آب در دسترس (مجموع آورد رودخانه و حجم ذخیره مخزن) کمتر از میزان کل نیاز باشد، همان میزان آب در دسترس رهاسازی می‌شود و مخزن خالی می‌گردد. اما اگر حجم آب در دسترس بیش از نیاز موجود باشد، میزان رهاسازی برابر با مقدار نیاز خواهد بود و آب مازاد در مخزن ذخیره می‌شود و در صورت پر شدن مخزن سرریز خواهد کرد. این سیاست را می‌توان برای سامانه تک مخزنه توسط رابطه (۴-۱۳) پیاده‌سازی نمود. البته با توجه به اینکه از آب سرریز شده از سد کبودوال، هیچ استفاده‌ای نمی‌شود و این آب مستقیماً به رودخانه کبودوال تخلیه می‌گردد، این موضوع در این رابطه لحاظ شده که در صورت سرریزی، حجم آب سرریز شده فقط در تأمین نیاز رودخانه کبودوال اثرگذار می‌باشد و خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی برای تأمین نیاز کشاورزی آن دوره استفاده می‌شود. با استفاده از روابط زیر این روش بر روی سد کبودوال اعمال می‌شود.

$$S_1 = S_{Normal} \quad (11 - 4)$$

$$SPILL_{(i)} = \begin{cases} 0 & \text{if } S_{(i)} \leq S_{Taraze Sarriz} \\ S_{(i)} - S_{Taraze Sarriz} & \text{if } S_{(i)} > S_{Taraze Sarriz} \end{cases} \quad (12 - 4)$$

$$R_{(i)} = \begin{cases} S_{(i)} & \text{if } S_{(i)} < D_{Sum(i)} \\ D_{Sum(i)} & \text{if } D_{Sum(i)} \leq S_{(i)} \leq S_{TS} \\ D_{Agri(i)} - (S_{Max} - S_{(i)}) & \text{if } S_{TS} < S_{(i)} < (S_{TS} + D_{River(i)}) \\ D_{Agri(i)} & \text{if } S_{TS} < S_{(i)} \leq (S_{TS} + D_{River(i)}) \end{cases} \quad (13 - 4)$$

$$S_{(i+1)} = S_{(i)} + I_{(i)} + P_{(i)} - R_{(i)} - ET_{(i)} - SPILL_{(i)} \quad (14 - 4)$$

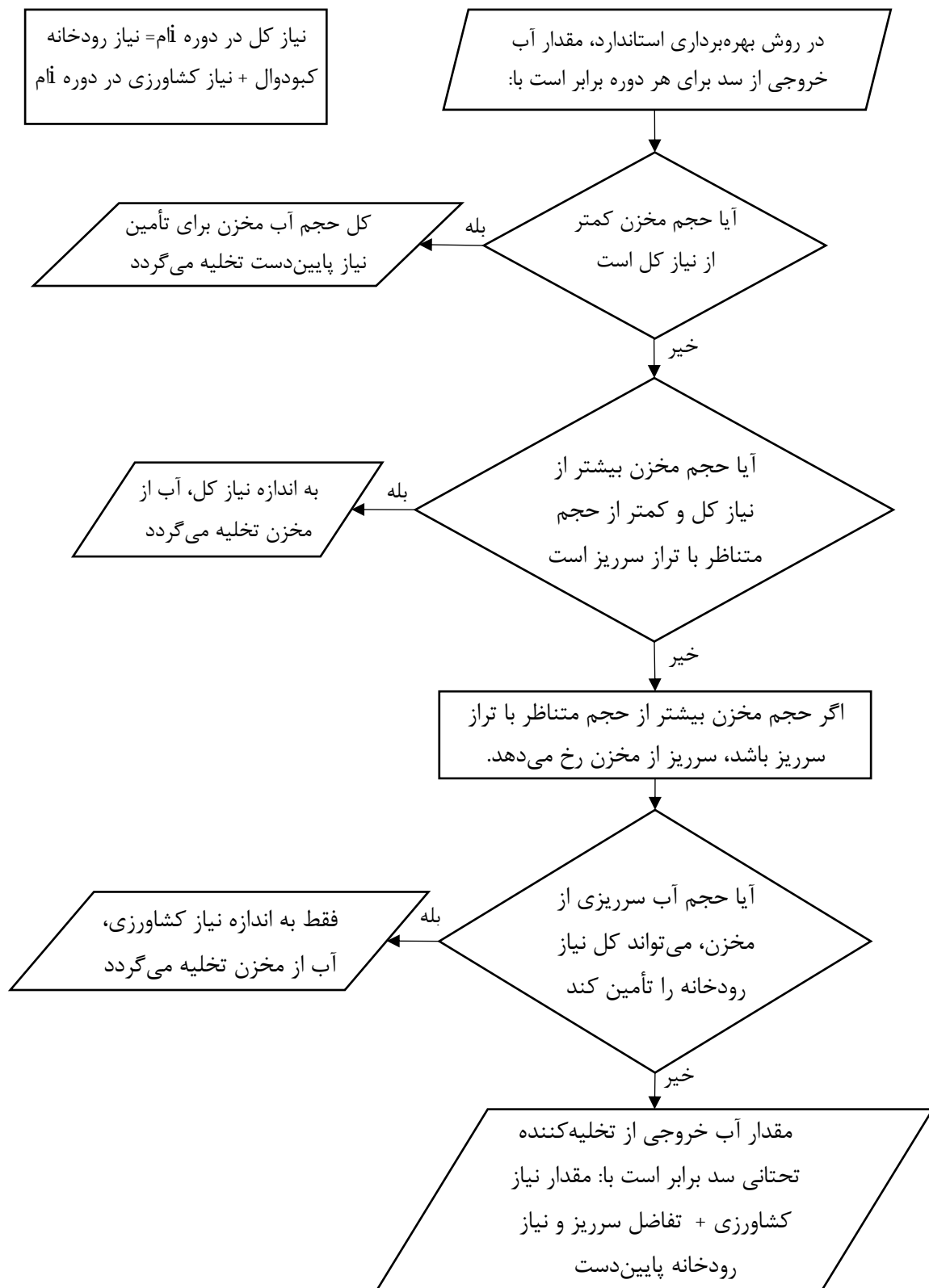
$$Minimize \ Z = \left(\frac{1}{m} \times \sum_{i=1}^T \left[\frac{(D_{(i)} - R_{(i)})^2}{D_{Max}} \right] \right) \quad (15 - 4)$$

$$\alpha_{(i)} = \begin{cases} 1 & \text{if } R_{(i)} \geq D_{(i)} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (16 - 4)$$

$$Rel = \left(\frac{\sum_{i=1}^T \alpha_{(i)}}{T} \right) \times 100 \quad (17 - 4)$$

که در رابطه بالا: $R(i)$ = خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی در ماه i ام، $S(i)$ = حجم مخزن در دوره i ام، $I(i)$ = ورودی به مخزن در دوره i ام، $D_{sum}(i)$ = مجموع نیاز کشاورزی و نیاز رودخانه پایین‌دست در دوره i ام، S_{TS} = حجم متناظر با تراز سرریز مخزن، $D_{agri}(i)$ = نیاز کشاورزی در دوره i ام، $D_{river}(i)$ = نیاز رودخانه پایین‌دست در دوره i ام، $P(i)$ = بارندگی در مخزن در دوره i ام، $ET(i)$ = تبخیر و تعرق از مخزن در دوره i ام، $\alpha(i)$ = متغیر صفر و یک برای دوره i ام، Rel = درصد تأمین نیازسیستم و T = تعداد کل دوره‌های بهره‌برداری می‌باشد.

در فلوچارت شکل (۴-۳)، نحوه تعیین خروجی از مخزن سد، برای نیازهای پایین‌دست به روش بهره‌برداری استاندارد نشان داده شده است.



شکل (۳-۴) نحوه تخصیص خروجی برای نیاز ماه‌های مختلف، در روش بهره‌برداری استاندارد.

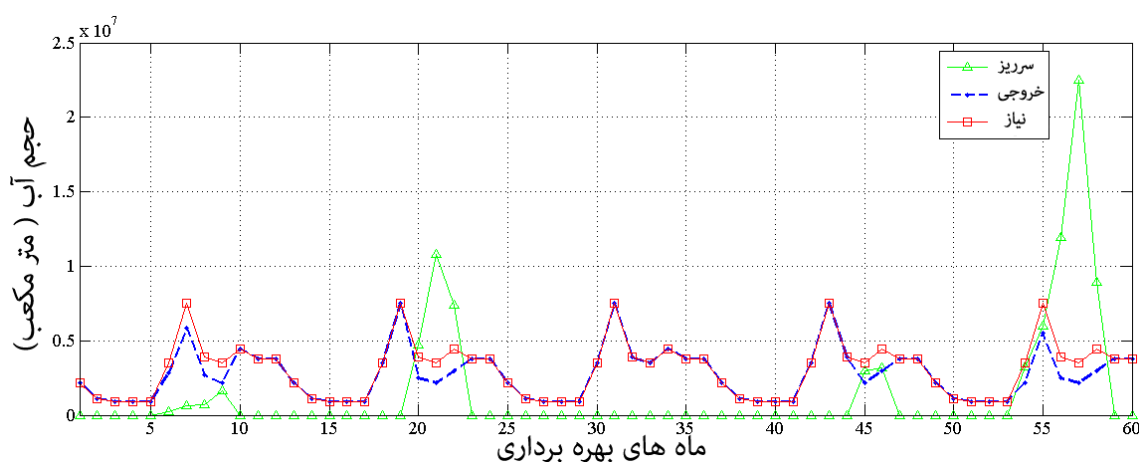
۴-۲-۱- نتیجه‌ی اجرای روش بهره‌برداری استاندارد (بدون در نظر گرفتن ماه‌های

سیلابی)

پس از نوشتن کد بهره‌برداری استاندارد در MATLAB، و اجرای آن برای ۶۰ ماه بهره‌برداری برای سد کبودال، مقدار درصد تأمین نیاز و همچنین مقدار تابع هدف این روش در جدول (۳-۴) نشان داده شده است. در شکل (۴-۴) مقادیر نیاز و خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی و سرریز نیز نشان داده شده است.

جدول (۳-۴) نتایج بهره‌برداری به روش استاندارد برای ۶۰ ماه.

روش بهره‌برداری استاندارد	تأمین نیاز	تابع هدف
مقدار	۱۰۰٪	۰/۰۰۳۷



شکل (۴-۴) نمایش خروجی‌های مدل بهره‌برداری استاندارد (بدون در نظر گرفتن ماه‌های سیلابی)

همانطور که از شکل (۴-۴) پیداست، در روش بهره‌برداری استاندارد همانند روش الگوریتم ژنتیک، برای ماه‌هایی که سرریز رخ می‌دهد، الگوریتم برای تأمین نیاز کشاورزی، به اندازه مقدار نیاز کشاورزی از مخزن خروجی در نظر گرفته است.

۴-۲-۳- مقایسه دو روش بهره‌برداری استاندارد و الگوریتم ژنتیک با استفاده از قابلیت

اعتمادپذیری

برای مقایسه دو روش فوق از قابلیت اطمینان مخزن استفاده می‌شود. در واقع میزان قابلیت اعتمادپذیری سیستم عبارت از نسبت تعداد ماه‌هایی که در آن مقدار نیاز (در این تحقیق مجموع ۹۵ درصد از نیاز کشاورزی و ۱۰۰ درصد نیاز رودخانه کبودال) برآورده شده است، به کل تعداد ماه‌های بهره‌برداری می‌باشد. که روابط آن به شرح زیر می‌باشد:

$$\alpha_{(i)} = \begin{cases} 1 & \text{if } R_{(i)} \geq D_{(i)} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (18-4)$$

$$Rel = \left(\frac{\sum_{i=1}^T \alpha_{(i)}}{T} \right) \times 100 \quad (19-4)$$

که در این روابط:

$R_{(i)}$ = خروجی در دوره لام، $D_{(i)}$ = حجم آب مورد نیاز در دوره لام، $\alpha_{(i)}$ = متغیر صفر و یک، Rel =

قابلیت اطمینان، T = تعداد کل دوره می‌باشد.

در جدول (۴-۴) مقدار تابع هدف و درصد تأمین نیاز دو روش بهره‌برداری استاندارد و روش

الگوریتم ژنتیک نشان داد شده است.

جدول (۴-۴) نتایج روش بهره‌برداری استاندارد و الگوریتم ژنتیک در مبحث بهره‌برداری بهینه از سد کبودال (بدون در نظر گرفتن تخصیص فصلی برای ذخیره سیل).

روش	تأمین نیاز	تابع هدف
بهره‌برداری استاندارد	۱۰۰٪	۰/۰۰۳۷
الگوریتم ژنتیک	۱۰۰٪	۰/۰۰۰۰۰۴۵

همانطور که از جدول (۴-۴) مشخص است، نتایج بهره‌برداری از مخزن سد کبودال با دو روش

بهره‌برداری استاندارد و روش الگوریتم ژنتیک، نشان دهنده این موضوع می‌باشد که هر دو روش الگوریتم

ژنتیک و بهره‌برداری استاندارد، منجر به تأمین ۱۰۰ درصدی نیازها می‌گردند که نشان از کارایی هر دو روش در این بخش می‌باشد. اما الگوریتم ژنتیک با مقدار تابع هدف کمتر، کارایی بالاتری از خود در تأمین نیاز نشان داده است. در نتیجه، می‌توان از الگوریتم ژنتیک به عنوان روشی مطمئن در این بخش استفاده نمود.

۴-۲-۴- نتایج بهینه‌یابی سیستم غیرسازه‌ای کنترل سیل سد کبودوال با استفاده از

الگوریتم ژنتیک (با در نظر گرفتن تخصیص فصلی برای ذخیره سیل)

استفاده از حجم در نظر گرفته شده برای ذخیره سیلاب احتمالی در ماه‌های غیرسیلابی، به عنوان حجمی برای ذخیره آب برای تأمین نیاز مطمئن پایین‌دست، شاید معقول به نظر برسد، اما استفاده از حجم در نظر گرفته شده برای کنترل سیل، برای ذخیره آب در ماه‌های سیلابی، کاری غیر معقول می‌باشد. که در این راستا باید در ماه‌های سیلابی (آبان تا اردیبهشت سال بعد) حجم در نظر گرفته شده برای کنترل سیل خالی گردد تا مخزن آمادگی دریافت و ذخیره و خروج تدریجی سیل‌ها احتمالی را داشته باشد. پس در نتیجه برای بهره‌برداری بهینه از مخزن با در نظر گرفتن مقدار نیاز پایین‌دست و همچنین ماه‌های سیلابی، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، اقدام به بهینه‌سازی خروجی‌های سد می‌گردد. الگوریتم این روش، همانند الگوریتم روش بهره‌برداری بهینه بدون در نظر گرفتن ماه‌های سیلابی می‌باشد که در شکل (۴-۱) نشان داده شده است. همچنین از روابط استفاده شده در مدل قبلی، در این مدل نیز استفاده می‌گردد، با این تفاوت که در مدل قبلی رابطه (۴-۷) استفاده نمی‌شود ولی در این مدل این رابطه به مدل اضافه می‌گردد.

پس از کدنویسی روابط و تابع هزینه این روش، و اتصال آن به کدهای الگوریتم ژنتیک، نتیجه‌ی استفاده از این مدل در مبحث بهینه‌سازی بهره‌برداری از سد کبودوال در جدول (۴-۶) نشان داده شده است. همچنین نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در این مدل در جدول (۴-۵) نشان شده است.

جدول (۴-۵) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در این روش.

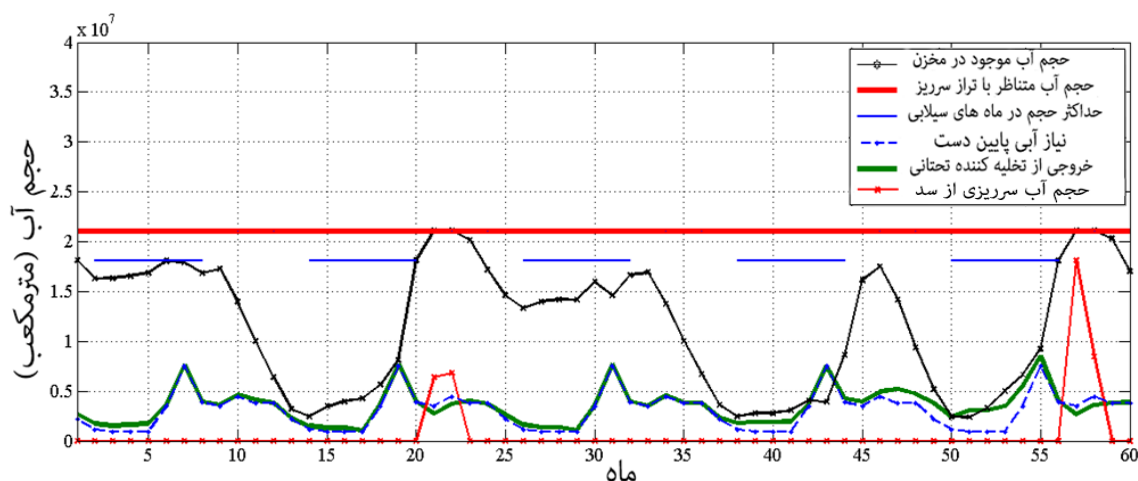
پارامتر	مقدار یا نوع
تعداد تکرار	۱۵۰۰
جمعیت اولیه	۱۵۰
تعداد متغیر	۶۰ (ماه)
نرخ ترکیب	۰/۸
نرخ جهش	۰/۳
درصد جهش	۰/۰۲
نحوه انتخاب	رقابتی با (m=3)
نوع جایگزینی	شایسته سالار

جدول (۴-۶) نتایج اجرای الگوریتم ژنتیک (با در نظر گرفتن تخصیص فصلی برای ذخیره سیل)

الگوریتم ژنتیک	تأمین نیاز	تابع هدف
مقدار	۹۸/۳۳	۰/۰۰۴۸

از بررسی جدول (۴-۶) و مقدار بهینه‌ی جدول (۴-۲) مشاهده می‌شود که مقدار درصد تأمین نیاز پایین‌دست، در مدلی که از حجم کنترل سیل در تمام ماه‌ها برای ذخیره آب استفاده شده نسبت به مدلی که در ماه‌های سیلابی از حجم کنترل سیل فقط برای ذخیره کنترل سیل استفاده می‌کند، بیشتر می‌باشد. و دلیل این بیشتر بودن درصد تأمین نیاز به دلیل استفاده از حجم کنترل سیل برای ذخیره آب و در نتیجه آن، بیشتر بودن حجم آب در دسترس نسبت به مدلی که در ماه‌های سیلابی این حجم تخلیه می‌گردد، می‌باشد.

در شکل (۴-۵)، ماه‌های سیلابی، تغییرات حجم آب موجود در مخزن، مقادیر نیاز، خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی و سرریز در شرایطی که در ماه‌های سیلابی از حجم کنترل سیل، فقط برای ذخیره سیل استفاده می‌شود، نشان داده شده است.



شکل (۴-۵) نمایش خروجی های مدل الگوریتم ژنتیک (خروجی، نیاز، سرریز)

تفاوت تأمین نیاز برای مدلی که برای کنترل سیل حجم این قسمت را خالی در نظر می گیرد نسبت به مدلی که برای کنترل سیلاب حجمی در نظر نمی گیرد، در مقدار خروجی ماهانه در نظر گرفته شده برای تأمین نیاز توسط الگوریتم ژنتیک می باشد. همانگونه که در بخش (۳-۱۰-۱-ب) ذکر شد برای تخصیص فصلی برای ذخیره سیل، باید حجم این قسمت در ماه های سیلابی خالی باشد که برای این منظور می بایست حجم مخزن بیشتر از این مقدار تخلیه گردد. که با توجه به قید در نظر گرفته شده برای این منظور (قید حداکثر حجم مخزن) الگوریتم نیز خروجی هایی تولید نموده است که منجر به خالی بودن این بخش از مخزن مخصوصا در ماه های سیلابی می شود (حتی اگر بیشتر از مقدار نیاز پایین دست باشد). در مابقی ماه ها (غیرسیلابی) ممکن است که خروجی در نظر گرفته شده، دقیقا برابر با مقدار نیاز باشد و مابقی حجم مخزن برای ماه های آینده نگهداری می شود.

۳-۴- بهینه سازی سد مخزنی کبودوال به روش سازه ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک

در این روش، پس از تولید پاسخ برای متغیرهای تصمیم در نظر گرفته شده برای بهینه یابی سیستم (ابعاد تخلیه کننده های تحتانی و رقوم کف کانال در ابتدا و انتها)، ابتدا روندیابی مخزن با استفاده از روش رانگ کوتا (معادلات (۳-۳۶) تا (۳-۴۱)) انجام می شود. که در عملیات روندیابی خروجی از

تخلیه‌کننده تحتانی سد با استفاده از رابطه‌های (۳-۱۰) و (۳-۱۱)، همچنین با در نظر گرفتن افت‌های مسیر (رابطه‌های (۳-۴) تا (۳-۹)) بدست می‌آید. و پس از به دست آوردن حداکثر حجم مخزن (با استفاده از روندیابی)، ارتفاع سد از مجموع، ارتفاع متناظر با حداکثر حجم پس از روندیابی، ارتفاع آزاد، ارتفاع سرریز و ارتفاع ناشی از نشست به دست می‌آید.

همچنین با استفاده از روندیابی به روش رانگ‌کوتای مرتبه چهار، حداکثر دبی خروجی از سد نیز تعیین می‌گردد، که با این حداکثر دبی خروجی، ابعاد کانال پایین‌دست به دست می‌آید. در نهایت پس از محاسبه حجم خاکریزی بدنه سد، ابعاد کانال و احجام مربوط به مقدار پوشش و خاکبرداری و خاکریزی مربوط به کانال، تابع هزینه و همچنین قیود بهینه‌یابی سیستم کنترل سیل برابر می‌شود با:

$$\text{Min } Z = (V_{\text{Dam}} \times C_D + V_{\text{SumPoshesh}} \times C_P + V_{\text{SumFill}} \times C_F + V_{\text{SumCut}} \times C_C) \times (1 + W \times \text{Violation}) \quad (20 - 4)$$

st:

$$H_{\text{DamMin}} \leq H_{\text{Dam}} \leq H_{\text{DamMax}} \quad (21 - 4)$$

$$Q_{\text{outletMin}} \geq Q_{\text{Min}} \quad (22 - 4)$$

$$Q_{\text{outletMax}} \leq Q_{\text{MaxRiver}} \quad (23 - 4)$$

$$V_{\text{outlet}} \leq V_{\text{outletMax}} \quad (24 - 4)$$

$$V_{\text{ChannelMin}} \leq V_{\text{Channel}} \leq V_{\text{ChannelMax}} \quad (25 - 4)$$

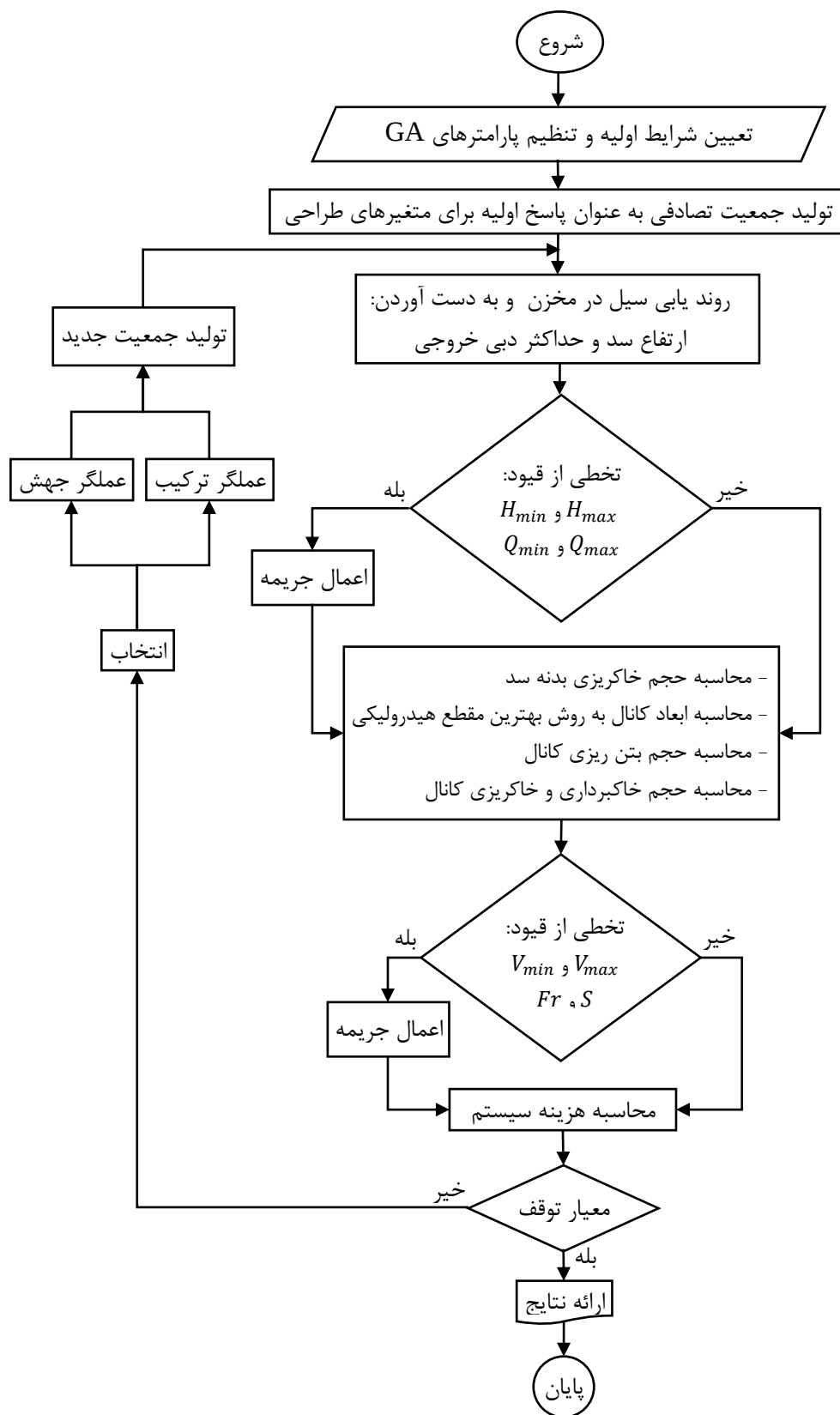
$$S_{\text{Channel}} > 0 \quad (26 - 4)$$

$$\text{Fr}_{\text{Channel}} \geq \text{Fr}_{\text{MinChannel}} \quad (27 - 4)$$

که در این روابط: Z = تابع هزینه سیستم، V_{dam} = حجم خاکریزی سد، C_d = هزینه حجم واحد ساخت سد، $V_{\text{SumPoshesh}}$ = حجم کل پوشش (حوضچه آرامش و کانال)، C_P = هزینه حجم واحد پوشش، V_{SumFill} = کل خاکبرداری (حوضچه آرامش و کانال)، C_F = هزینه حجم واحد خاکبرداری، V_{SumCut} = کل خاکریزی (حوضچه آرامش و کانال)، C_C = هزینه اجرای حجم واحد خاکریزی، Violation = مجموع مقدار تخطی از قیود، H_{DamMin} = قید حداقل ارتفاع سد که برابر است با ۲۷/۲۷، H_{DamMax} = حداکثر ارتفاع سد که برای سد کبودوال برابر با ۵۰ متر می‌باشد، Q_{Min} = حداقل دبی خروجی از تخلیه‌کننده

تحتانی که برای سد کبودوال برابر با $0/36$ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد، $Q_{MaxRiver}$ حداکثر دبی مجاز رودخانه کبودوال که برابر با $88/3$ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (شعبانلو و همکاران، ۱۳۸۸)، $V_{outletMax}$ حداکثر دبی خروجی از تخلیه‌کننده که سرعت نباید بیشتر از 40 متر بر ثانیه باشد، $V_{ChannelMin}$ حداقل سرعت مجاز در کانال که از رابطه $(3-44)$ به دست می‌آید، $V_{ChannelMax}$ حداکثر سرعت مجاز در کانال که برابر با 12 متر بر ثانیه می‌باشد، $S_{Channel}$ شیب طولی کانال که نباید صفر یا منفی باشد، $Fr_{MinChannel}$ حداقل عدد فرود که، عدد فرود کانال نباید کمتر از $0/12$ باشد.

الگوریتم بهینه‌یابی به روش سازه‌ای سیستم کنترل سیل با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شکل (۴-۶) نشان داده شده است.



شکل (۴-۶) فلوچارت بهینه‌سازی روش سازه‌ای سیستم کنترل سیل سد کبودال

پس از کد نویسی این روش، و اتصال آن به کدهای الگوریتم ژنتیک، نتایج بهینه‌سازی برای روش سازه‌ای کنترل سیل در جدول (۴-۸) ارائه شده است. همچنین در جدول (۴-۷) نوع الگوریتم مورد استفاده، و مقدار پارامترهای آن ذکر شده است.

جدول (۴-۷) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده (برای روش سازه‌ای کنترل سیل)

پارامتر	مقدار یا نوع
تعداد تکرار	۱۵۰۰
تعداد متغیر	۳
نرخ ترکیب	۰/۸
نرخ جهش	۰/۳
درصد جهش	۰/۰۲
نحوه انتخاب	رقابتی با (m=3)
نوع جایگزینی	شایسته سالار

جدول (۴-۸) نتایج بهینه‌یابی سیستم سازه‌ای کنترل سیل سد کبودال با استفاده از الگوریتم ژنتیک با جمعیت‌های مختلف

نوع متغیر	پارامتر	مقادیر پارامترها (تعداد جمعیت ۱۰ کروموزوم)	مقادیر پارامترها (تعداد جمعیت ۵۰ کروموزوم)	مقادیر پارامترها (تعداد جمعیت ۱۵۰ کروموزوم)
متغیرهای تصمیم مسئله	ابعاد تخلیه کننده‌ها	۲/۳۷ و ۲/۵	۲/۴۸ و ۲/۳۸	۲/۴۳ و ۲/۴۵
	رقوم کف انتهای کانال	۱۵۱/۶۹	۱۵۱/۶۹	۱۵۱/۶۹
متغیرهای وابسته به متغیرهای تصمیم	تراز سرریز	۲۸/۲۲	۲۸/۲۲	۲۸/۲۲
	حداکثر دبی خروجی	۸۰/۲۸	۸۰/۳	۸۰/۳
	عرض کانال	۴	۴	۴
	ارتفاع آب در کانال	۳/۴۸	۳/۴۸	۳/۴۸
	ارتفاع آزاد کانال	۱/۳	۱/۳	۱/۳
	ارتفاع آزاد پوشش	۰/۶	۰/۶	۰/۶
	سرعت آب، حداقل سرعت و عدد فرود	۳/۸۲ و ۰/۷۵ و ۰/۵۳	۳/۸۲ و ۰/۷۵ و ۰/۵۳	۳/۸۲ و ۰/۷۵ و ۰/۵۳
	حجم خاکریزی سد	۳۳۳۲۳۸۰/۱۸	۳۳۳۲۳۳۱/۲۴	۳۳۳۲۳۳۱/۰۵

حجم خاکریزی کانال و حوضچه آرامش	۰ و ۳۱۶/۱	۰ و ۳۱۵/۸۸	۰ و ۳۱۵/۸۲
حجم خاکبرداری کانال و حوضچه آرامش	۱۳۲۳۴ و ۱۶۲۸۳	۱۳۲۳۵ و ۱۶۲۸۵	۱۳۲۳۵ و ۱۶۲۸۵
حجم بتن ریزی کانال و حوضچه آرامش	۲۰۳/۰۵ و ۳۱۲/۷۹	۲۰۳/۰۷ و ۳۱۲/۷۸	۲۰۳/۰۷ و ۳۱۲/۷۷
ارتفاع سد	۳۰/۳۲	۳۰/۳۲	۳۰/۳۲
هزینه کل سیستم	۶۳۴۵۳۰۸۳۳۵۹	۶۳۴۵۲۱۶۳۷۶۹	۶۳۴۵۲۱۵۹۲۹۱

در نهایت چون مدل با جمعیت ۱۵۰ کروموزوم دارای کمترین مقدار تابع هدف می‌باشد، به عنوان نقطه بهینه انتخاب شد.

برای مقایسه کارایی الگوریتم ژنتیک، نتایج روش بهینه‌سازی را با مقادیر مشابه در سد کبودوال مورد مقایسه قرار می‌دهیم. در ادامه نحوه محاسبه هزینه سد کبودوال ارائه شده است.

۴-۴- هزینه سیستم‌های مورد بررسی سد کبودوال

آب خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی سد کبودوال بین دو قسمت تقسیم می‌شود. یک قسمت از آب به وسیله کانال‌های آبرسان به زمین‌های کشاورزی موردنظر انتقال داده می‌شود و قسمت دیگر، با استفاده از کانالی به رودخانه کبودوال متصل می‌شود. با توجه به اینکه در این تحقیق، فقط طول کوتاهی از کانال‌های سیستم آبرسانی سد کبودوال (مربوط به سیستم کنترل سیل) مورد بررسی قرار گرفته است و دیگر اینکه، چون هزینه این قسمت از کانال به صورت مجزا در اختیار نمی‌باشد، برای برآورد هزینه‌ی این قسمت از سیستم مورد بررسی، از بهینه‌یابی به وسیله الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. متغیرهای تصمیم در این بهینه‌یابی، رقوم کف کانال در ابتدا و انتهای کانال می‌باشد.

برای این بهینه‌یابی ابتدا باید ارتفاع سد کبودوال و حداکثر دبی خروجی از این سد را، به برنامه نوشته شده برای بهینه‌یابی سیستم کنترل سیل معرفی می‌کنیم. با تغییر در کدهای نوشته شده برای سیستم کنترل سیل، محاسبه هزینه سد کبودوال از محاسبه حجم خاکریزی به بعد ادامه می‌یابد (به این دلیل که ارتفاع سد و همچنین حداکثر دبی خروجی سد کبودوال مشخص می‌باشد). پس از محاسبه حجم خاکریزی بدنه سد، هزینه حجم پوشش کانال، هزینه خاکبرداری و هزینه خاکریزی با ارائه یک متغیر رقوم انتهای کف کانال قابل محاسبه است. در جدول (۴-۹) نوع الگوریتم مورد استفاده در این روش ارائه شده است.

جدول (۴-۹) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده برای بررسی هزینه سد کبودوال

پارامتر	مقدار یا نوع
تعداد تکرار	۱۵۰۰
جمعیت اولیه	۱۵۰
تعداد متغیر	۱
نرخ ترکیب	۰/۸
نرخ جهش	۰/۳
درصد جهش	۰/۰۲
نحوه انتخاب	رقابتی با (m=3)
نوع جایگزینی	شایسته سالار

پس از اجرای الگوریتم بهینه‌سازی و پایان آن، نتایج در جدول (۴-۱۰) ارائه شده است.

جدول (۴-۱۰) هزینه سیستم مورد بررسی سد مخزنی کبودوال

پارامتر	مقدار
عرض کانال و عمق آب	۲/۶۷ و ۲/۳۱
ارتفاع آزاد کانال و پوشش	۰/۷۶ و ۰/۲۹
سرعت آب، حداقل سرعت آب	۰/۸۶ و ۰/۴۹
عدد فرود	۰/۲
حجم خاکریزی سد کبودال	۳۵۴۶۳۳۷
حجم خاکریزی کانال و حوضچه آرامش	۰ و ۲۸۹
حجم خاکبرداری کانال و حوضچه آرامش	۱۰۵۲۶ و ۵۶۱۲

حجم پوشش کانال و حوضچه آرامش	۵۸ و ۱۵۱
هزینه سیستم مورد بررسی سد کبودوال	۶۷۴۵۵۰۹۴۱۸۶

۴-۵- مقایسه روش ارائه شده به وسیله مدل الگوریتم ژنتیک با هزینه سیستم مورد مطالعه

سد مخزنی کبودوال

این مقایسه با استفاده از تابع هدفی انجام می‌گیرد که بر اساس هزینه حجم مصالح استفاده شده، تعریف شده است. جدول (۴-۱۱) مقدار تابع هدف، برای دو روش فوق را نشان می‌دهد.

جدول (۴-۱۱) مقدار تابع هدف برای دو روش الگوریتم ژنتیک و روش معمول

نوع روش	مقدار تابع هدف
روش الگوریتم ژنتیک	۶۳۴۵۲۱۵۹۲۹۱
روش معمول	۶۷۴۵۵۰۹۴۱۸۶

همانطور که از جدول بالا مشخص است روش الگوریتم ژنتیک منجر به کاهش ۶ درصدی هزینه‌ها شده است. که با توجه به هزینه بسیار زیاد در اجرای این سیستم‌ها، این کاهش شش درصدی، برابر با حدود ۴ میلیارد تومان می‌باشد.

۴-۶- بررسی درصد تأمین نیاز سیستم بهینه‌شده به وسیله الگوریتم ژنتیک

پس از بهینه‌یابی سیستم کنترل سیل سد کبودوال، باید بررسی گردد که آیا این سیستم بهینه‌یابی شده توانایی تأمین نیازهای پایین‌دست را دارا می‌باشد یا اینکه در تأمین نیاز پایین‌دست خود دچار شکست می‌شود.

برای بررسی درصد تأمین نیاز سیستم بهینه‌یابی شده از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. برای این منظور ابتدا سیستم تغییر یافته (ارتفاع سد بهینه‌یابی شده، تراز سرریز بهینه‌یابی شده، حداکثر

دبی خروجی بهینه‌یابی شده، ابعاد تخلیه‌کننده‌های بهینه‌یابی شده و غیره) به مدل بهینه‌سازی تأمین نیاز معرفی می‌شود و سپس عملیات بهینه‌یابی برای ۶۰ ماه، برای سیستم کنترل سیل بهینه‌شده، اجرا می‌شود. در جدول (۴-۱۲) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده نشان داده شده است و در جدول (۴-۱۳) نتیجه‌ی بررسی درصد تأمین نیاز با استفاده از الگوریتم ژنتیک آورده شده است.

جدول (۴-۱۲) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده برای بهینه‌یابی تأمین نیاز سد بهینه‌شده

پارامتر	مقدار یا نوع
تعداد تکرار	۱۵۰۰
تعداد جمعیت	۱۵۰
تعداد متغیر	۶۰
نرخ ترکیب	۰/۸
نرخ جهش	۰/۳
درصد جهش	۰/۰۲
نحوه انتخاب	رقابتی با (m=3)
نوع جایگزینی	شایسته سالار

جدول (۴-۱۳) نتیجه الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌یابی تأمین نیاز سد بهینه‌شده

تعداد تکرار	تأمین نیاز	تابع هدف
۱۵۰	٪ ۱۰۰	بدون در نظر گرفتن ماه‌های سیلابی
۱۵۰	٪ ۹۱/۶۶	با در نظر گرفتن ماه‌های سیلابی

جدول بالا (۴-۱۳) نشان می‌دهد که سیستم بهینه‌شده نیز، توانایی خوبی در جهت تأمین نیاز

پایین‌دست، دارد.

۴-۷- بهینه‌سازی و شبیه‌سازی سد مخزنی کبودوال، با استفاده از ترکیب روش سازه‌ای و

غیرسازه‌ای توسط الگوریتم ژنتیک

همانطور که در بخش (۳-۸-۲-۱) بیان شد، نمی‌توان تنها بر اساس مطالعات بهینه‌سازی، ارزیابی دقیق از نحوه عملکرد سیستم به عمل آورد، و به همین جهت، متعاقب به کارگیری روش بهینه‌سازی، باید از روش شبیه‌سازی برای طراحی مخزن استفاده نمود. بنابراین برای نیل به این منظور، مدلی تهیه گردید که در حین عملیات بهینه‌سازی سیستم کنترل سیل، عملیات شبیه‌سازی مخزن برای بررسی مقدار تأمین نیاز نیز انجام گیرد.

برای اجرای کدهای الگوریتم ژنتیک، ابتدا لازم است که متغیرهای تصمیم برای اجرای این روش، به مدل معرفی شود. متغیرهای تصمیم برای این روش، ابعاد تخلیه‌کننده‌های تحتانی، رقوم کف کانال در ابتدا و انتهای کانال و همچنین خروجی ماهانه برای تأمین نیاز پایین‌دست (۶۰ ماه) می‌باشد. در نتیجه هر کروموزوم (برداري که حاوی متغیرهای تصمیم می‌باشد)، حاوی ۶۳ ژن (متغیرهای تصمیم) می‌باشد، که به شکل بردار زیر نشان داده می‌شود:

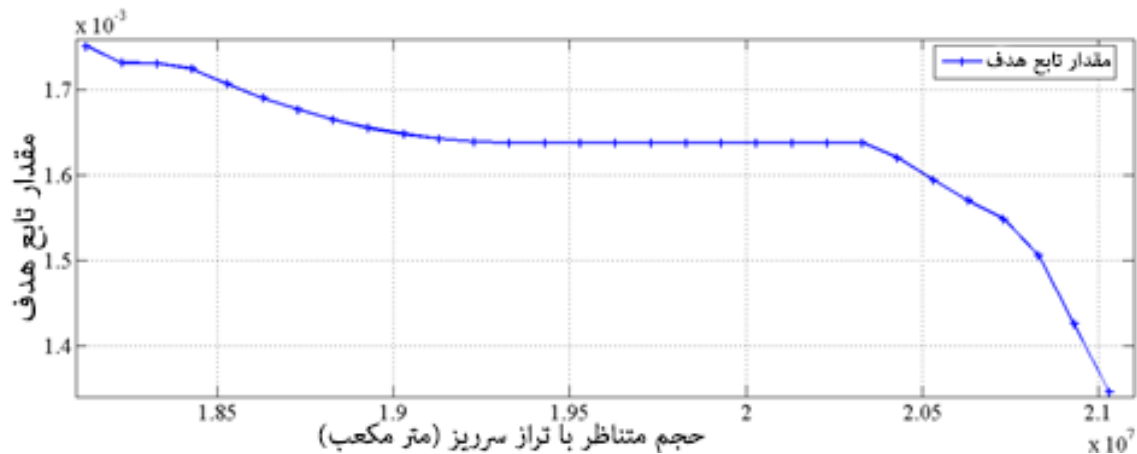
$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \dots, x_{63}] \quad (28 - 4)$$

که در بردار بالا: x_1 = متغیر در نظر گرفته شده برای ابعاد تخلیه‌کننده آبگیر اول، x_2 = متغیر در نظر گرفته شده برای ابعاد تخلیه‌کننده آبگیر دوم، x_3 = متغیر در نظر گرفته شده برای رقوم کف انتهای کانال، و x_4 تا x_{63} = متغیرهای در نظر گرفته شده برای خروجی از سد برای تأمین نیاز، می‌باشد.

در این روش با توجه به اینکه در هر مرحله از الگوریتم ژنتیک بسته به تعداد جمعیت اولیه و همچنین مقدار ترکیب وجهش، سدهایی با ارتفاع‌های مختلف طراحی می‌گردد، موجب می‌شود که ارتفاع سرریز نیز تغییر کند، که این امر موجب تغییر مقدار آب سرریز شده می‌گردد (البته در همه سدهای طراحی شده رقوم نرمال ثابت می‌باشد)، که در تأمین نیاز موثر است.

برای بررسی تغییر تراز سرریز بر مقدار تأمین نیاز، از روش بهره‌برداری استاندارد استفاده شده است. برای اعمال تغییر تراز سرریز بر تأمین نیاز، روش بهره‌برداری استاندارد با سرریزهای با ارتفاع‌های

مختلف اجرا شد و شکل (۷-۴) تغییرات مقدار تابع هدف، به ازای حجم‌های متناظر با ترازهای مختلف سرریز را برای روش بهره‌بردار استاندارد، و برای ۲۴ ماه بهره‌برداری را نشان می‌دهد.



شکل (۷-۴) تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات تراز سرریز در روش بهره‌برداری استاندارد

همانطور که از شکل بالا مشخص است با افزایش تراز سرریز (در نتیجه افزایش ارتفاع سد) مقدار تابع هدف کمتر شده است. این کاهش تابع هدف به این دلیل می‌باشد که با افزایش تراز سرریز، حجم بیشتری از ورودی به مخزن در مخزن نگهداری می‌شود که از این حجم نگهداری شده، در تأمین نیاز پایین‌دست، استفاده شده است، که موجب شده که مقدار تابع هدف (که نشان از کارایی بهتر سیستم می‌باشد) کاهش یابد. پس برای این نوع بهینه‌سازی هر چه ارتفاع سد بیشتر باشد، مقدار تأمین نیاز بهتر انجام می‌گیرد.

اما در روش سازه‌ای کنترل سیل هر قدر ارتفاع سد کمتر باشد، هزینه کاهش می‌یابد. پس در نتیجه برای بهینه‌سازی و شبیه‌سازی سیستم کنترل سیل، با دو هدف متضاد هم روبرو هستیم. که برای بهینه‌سازی این روش، باید از یک روش بهینه‌سازی چند هدفه استفاده گردد. اما برای رفع این مشکل در این تحقیق، از یک تابع هدف تلفیقی استفاده شده است.

چون در الگوریتم ژنتیک کروموزومی بهینه است که دارای مقدار تابع هدف کمتری نسبت به مابقی کروموزوم‌ها داشته باشد، و با توجه اینکه در روش سازه‌ای هر چه ارتفاع سد کمتر، هزینه نیز کمتر و بر

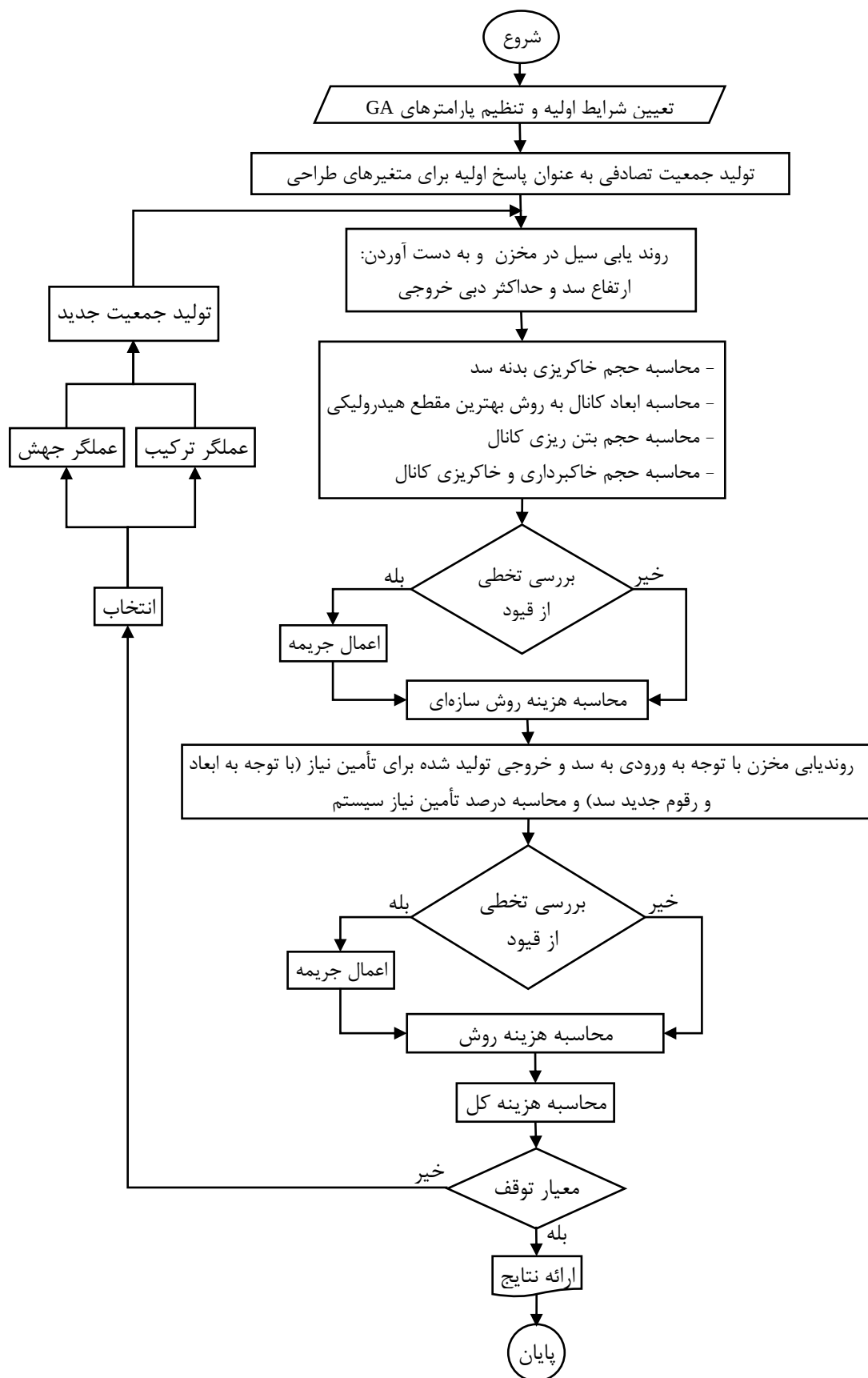
عکس در روش غیرسازه‌ای، هر چه ارتفاع سد بیشتر باشد مقدار تأمین نیاز بهتری انجام می‌گیرد و مقدار تابع هدف کمتر می‌شود، می‌توان تابع هدف در این روش را ضرب مقدار تابع هدف روش سازه‌ای و مقدار تابع هدف شبیه‌سازی (تأمین نیاز پایین‌دست) تعریف نمود. در این مدل با توجه به متغیرهای طراحی، ابتدا ابعاد سیستم کنترل سیل به دست می‌آید و سپس با استفاده از این ابعاد جدید (ارتفاع سد، تراز سرریز، حجم کنترل سیل و حداکثر دبی خروجی و غیره) اقدام به شبیه‌سازی مخزن برای تأمین نیاز می‌گردد. که روابط این روش به طور کلی به شرح زیر می‌باشد:

$$Z = Z_{Flood\ Control\ System} \times Z_{Operation} \quad (31 - 4)$$

$$Z_{F K S} = (V_{Dam} \times C_D + V_{Poshesh} \times C_P + V_{Fill} \times C_F + V_{Cut} \times C_C) \times (1 + W \times Violation) \quad (32 - 4)$$

$$Z_{Operation} = \left(\frac{1}{m} \times \sum_{i=1}^T \left[\frac{(D_{(i)} - R_{(i)})}{D_{Max}} \right]^2 \right) \times (1 + W \times Violation) \quad (33 - 4)$$

لازم به ذکر است که در این مدل، باید قیود در نظر گرفته شده برای هر دو روش سازه‌ای و غیرسازه‌ای، برای این مدل نیز در نظر گرفته شود که به دلیل مشابه بودن قیدها، از ارائه دوباره آن صرف‌نظر شده است. الگوریتم این روش در شکل (۴-۸) نشان داده شده است.



شکل (۴-۸) فلوچارت بهینه‌یابی ادغام دو روش سازهای و غیرسازهای کنترل سیل سد مخزنی کبودوال

پس از نوشتن کدهای روش بهینه‌سازی-شبیه‌سازی کنترل سیل در متلب، و تلفیق آن با الگوریتم ژنتیک، نتیجه‌ی استفاده از این روش در جدول (۴-۱۵) نشان داده شده است. همچنین نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در این مدل در جدول (۴-۱۴) ذکر شده است.

جدول (۴-۱۴) نوع الگوریتم ژنتیک مورد استفاده

پارامتر	مقدار یا نوع
تعداد تکرار	۲۰۰۰
جمعیت اولیه	۵۰۰
تعداد متغیر	۶۳
نرخ ترکیب	۰/۸
نرخ جهش	۰/۳
درصد جهش	۰/۰۲
نحوه انتخاب	رقابتی با (m=3)
نوع جایگزینی	شایسته سالار

جدول (۴-۱۵) نتایج بهینه‌یابی-شبیه‌سازی سیستم کنترل سیل سد کبودوال با استفاده از الگوریتم ژنتیک (با در نظر گرفتن تخصیص فصلی برای ذخیره سیل)

پارامتر	مقدار
مقدار تابع هدف تأمین نیاز	۰/۰۰۵
ابعاد تخلیه کننده‌ها	۲/۲ و ۲/۵
حداکثر دبی خروجی	۷۴/۵
به ترتب عرض، ارتفاع آب، ارتفاع آزاد کانال و ارتفاع آزاد پوشش	۳/۸۷ و ۳/۳۵ و ۱/۲۸ و ۰/۶
سرعت آب، حداقل سرعت و عدد فرود کانال	۳/۸۲ و ۰/۵ و ۰/۷۶
درصد تأمین نیاز سیستم	۹۵٪
حجم خاکریزی سد	۳۳۳۳۰۹۸
حجم خاکبرداری کانال و حوضچه آرامش	۱۶۰۶۹ و ۱۲۸۳۹
حجم خاکریزی کانال و حوضچه آرامش	۲۷۹ و ۰
حجم بتن‌ریزی کانال و حوضچه آرامش	۳۰۲ و ۱۹۶
ارتفاع سد	۳۰/۳۸
هزینه ساخت سیستم	۶۳۷۰۵۴۱۴۹۲۵

در انتها برای مقایسه سه روش طراحی به روش معمول، طراحی به روش بهینه‌سازی و طراحی به روش بهینه‌سازی و شبیه‌سازی در جدول (۴-۱۶) ارائه می‌شود.

جدول (۴-۱۶) هزینه و تأمین نیاز برای روش‌های مختلف طراحی (با در نظر گرفتن حجم کنترل سیل برای ذخیره سیل)

سدهای بهینه‌سازی - شبیه‌سازی شده	سد بهینه‌شده	سد کبودال	
۶۳۴۷۱۲۸۰۶۹۳	۶۳۴۵۲۱۵۹۲۹۱	۶۷۴۵۵۰۹۴۱۸۶	هزینه سیستم (تومان)
٪ ۹۵	٪ ۹۱/۶۶	٪ ۹۸/۳۳	درصد تأمین نیاز
۳۰/۳۸	۳۰/۳۲	۳۱/۲۵	ارتفاع سد (متر)
۳/۳۵	۳/۴۸	۲/۳۱	ارتفاع آب کانال (متر)
۳/۸۷	۴	۲/۶۷	عرض کانال (متر)
۰ و ۲۷۹	۰ و ۳۱۵/۸۲	۰ و ۲۸۹/۱۸	حجم خاکریزی کانال و حوضچه (متر مکعب)
۱۲۸۳۹ و ۱۶۰۶۹	۱۳۲۳۵ و ۱۶۲۸۵	۵۶۱۲ و ۱۰۵۲۶	حجم خاکبرداری کانال و حوضچه (متر مکعب)
۱۹۶ و ۳۰۲	۲۰۳ و ۳۱۲	۵۸ و ۱۵۱	حجم بتن‌ریزی کانال و حوضچه (متر مکعب)

از مقایسه نتایج مدل ادغام شده با مدلی که به طور مجزا بهینه‌سازی انجام گرفته، (جدول ۱۶-۴)، مشاهده می‌شود، مدلی که بهینه‌سازی ساخت سیستم کنترل سیل به طور مجزا انجام شده است، منجر به کاهش هزینه به میزان ۶ درصد (بالغ بر ۴ میلیارد تومان کمتر نسبت به سد کبودال) شده است و درصد تأمین نیاز نیز برابر با ۹۱/۶۶ درصد می‌باشد. اما در مدل ترکیب شده (بهینه‌سازی-شبیه‌سازی) مقدار کاهش هزینه برابر با ۵/۵۶ درصد (بالغ بر ۳ میلیارد و ۴۰۰ میلیون تومان کمتر نسبت به سد کبودال) می‌باشد و درصد تأمین نیاز ۹۵٪ درصد می‌باشد، که نشان از تأثیر اهمیت درصد تأمین نیاز در این مدل می‌باشد. از جداول (۴-۴)، (۴-۱۱) و (۴-۱۶) می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم ژنتیک در بخش بهره‌برداری کارآیی بهتری نسبت به روش بهره‌برداری استاندارد داشته و در بخش طراحی نیز، کارآیی بهتری نسبت به طراحی به روش معمول را دارا می‌باشد.

در انتها روش بهینه‌سازی-شبیه‌سازی برای استفاده در طرح مطالعاتی ساخت یک سد به دلیل در نظر گرفتن ضوابط طراحی و همچنین به دلیل شبیه‌سازی عملیات بهره‌برداری و نتایج خوب آن، پیشنهاد می‌گردد.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهاد

۵-۱- نتیجه‌گیری

از مهمترین عوامل تعیین کننده در طراحی سیستم‌ها و سازه‌های عمرانی، عوامل هزینه و ایمنی سازه‌ها می‌باشد. جهت این امر، تعیین ابعاد بهینه این سازه‌ها برای کاهش هزینه‌ها به نحوی که ایمنی آنها در حد مطلوب باقی بماند و کلیه پارامترها و محدودیت‌های طراحی را برآورده سازد، مورد نیاز است. در این تحقیق بهینه‌سازی سیستم کنترل سیل سد کبودال در دو حالت سازه‌ای و غیرسازه‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی نتایج حاصل از تحقیق حاضر را می‌توان به بخش‌های زیر خلاصه و طبقه‌بندی نمود:

۱. الگوریتم ژنتیک از کارایی خوبی برای انجام بهینه‌سازی در زمینه ساخت سد و تأمین نیاز برخوردار می‌باشد و می‌توان از آن، در آینده در این بخش استفاده نمود.

۲. طراحی با استفاده از روش بهینه‌یابی الگوریتم ژنتیک منجر به کاهش هزینه‌های ساخت می‌گردد.

۳. مدلی که بهینه‌سازی ساخت سیستم کنترل سیل به طور مجزا انجام شده است، منجر به کاهش هزینه به میزان ۶ درصد شده است و درصد تأمین نیاز نیز برابر با ۹۱/۶۶ درصد می‌باشد. اما در مدل ادغام شده (بهینه‌سازی-شبیه‌سازی) مقدار کاهش هزینه حدود ۵/۵۶ درصد می‌باشد اما درصد تأمین نیاز ۹۵ درصدی را ارائه کرده است، که نشان از تأثیر اهمیت درصد تأمین نیاز در این مدل می‌باشد.

۴. در تکنیک بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، روش مشخصی برای توقف الگوریتم ژنتیک وجود ندارد و این ممکن است که منجر به انتخاب مدتی طولانی یا تعداد تکرار مازاد بر فضای مسئله، برای کارایی الگوریتم ژنتیک شود.

۵. همچنین در این روش هیچ تضمینی وجود ندارد که با افزایش تعداد تکرار یا تعداد جمعیت، نتایج بهتری تولید شود و این به دلیل ماهیت تصادفی بودن تولید پاسخ اولیه و همچنین ماهیت تصادفی بودن انتخاب، تصادفی بودن مقدار تأثیر ترکیب و تصادفی بودن مکان اعمال عملگر جهش می‌باشد.

۵-۲-پیشنهادهات

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق و بررسی‌های صورت گرفته، پیشنهادات زیر مد نظر قرار گرفته است:

- ۱- پیشنهاد بهینه‌یابی سود به هزینه، بین هزینه‌ی افزایش یا کاهش ظرفیت نگهداری سیل در مخزن و افزایش یا کاهش سود ناشی از افزایش یا کاهش سطح زیرکشت.
- ۲- پیشنهاد می‌گردد کارایی دیگر الگوریتم‌های نوین بهینه‌سازی در این زمینه نیز بررسی گردد، و مقایسه شود که کدام الگوریتم در این زمینه از کارایی بالاتری برخوردار می‌باشند.
- ۳- پیشنهاد می‌گردد که تغییرات پارامترهای دیگر طراحی سد، مانند تغییر حجم و ابعاد پی سد بر اثر تغییر ارتفاع سد، تغییرات هزینه حفاظت از شیب‌های بالادست و پایین‌دست سد نیز به تابع هدف افزوده گردد.
- ۴- پیشنهاد می‌شود که در کنار روش‌های سازه‌ای، روش‌های مدیریتی دیگر نظیر آبخیزداری و غیره نیز، برای کاهش ابعاد و اندازه‌های سیستم سازه‌ای مورد بررسی قرار گیرند.
- ۵- پیشنهاد می‌گردد که با استفاده از تکنیک بهینه‌یابی الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی برداشت آب از مخزن برای تأمین نیاز پایین‌دست، برای سال‌های آینده با توجه به تغییر اقلیم نیز انجام شود.
- ۶- پیشنهاد می‌گردد علاوه بر سیستم کنترل سیل، بهینه‌یابی کانال‌های آبرسان طرح (پایین‌دست) نیز، مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- ۱- آبش زاده اصل، م. فاخری فرد، ا. حسین زاده دلیر، ع. میرنیا، ک. فرسادی زاده، د. (۱۳۸۷). "بهینه سازی بهره برداری از مخازن سدها برای مصارف کشاورزی (مطالعه موردی: سد علویان)". **پژوهش کشاورزی**، دوره ۸، شماره ۱ (ب): ص ۱۹۳-۱۸۳.
- ۲- آذری، ح. متکان، ع. شکیبا، ع. پورعلی، ح. (۱۳۸۸). "شبیه سازی و هشدار سیل با تلفیق مدل های آبشناسی در GIS و برآورد بارش از طریق سنجش از دور". **فصلنامه زمین شناسی ایران**، سال سوم، شماره نهم: ص ۳۹-۵۱.
- ۳- ازدری مقدم، م. جعفری ندوشن، ا. (۱۳۹۲). "بهینه یابی هندسه سرریز کنگره ای دوزنقه ای با استفاده از مدل فازی-عصبی و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی سد Ute در ایالات متحده آمریکا). **نشریه مهندسی عمران فردوسی**، سال بیست و چهارم، شماره دو: ص ۱۲۹-۱۳۸.
- ۴- اشرف واقفی، س. زهرایی، ب. ملک محمدی، ب. بنی هاشمی، م. (۱۳۸۸). "بهینه سازی خروج رسوبات سدها در عملیات فلاشینگ با استفاده از مدل بهره برداری از مخزن (مطالعه موردی سد سفیدرود)". **مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران**، دوره ۳، شماره ۶: ص ۳۹-۴۸.
- ۵- اشرفی، م. برهانی داریان، ع. (۱۳۹۰). "بهره برداری بهینه از مخازن چند هدفه با اهداف تولید انرژی و کنترل سیلاب". **ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان**.
- ۶- اصلانی، م. عمادی، ع. نظریور، ع. (۱۳۹۲). "تعیین مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی سدهای بتنی وزنی". **نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک**، جلد بیستم، شماره پنجم: ص ۲۳۱-۲۳۹.
- ۷- امیری تکلدانی، ا. سیاهی، م. (۱۳۹۲). "طراحی کانال های آبیاری و سازه های وابسته". انتشارات دانشگاه تهران. تعداد صفحه ۴۹۴.
- ۸- باوی، ا. صالحی، م. (۱۳۸۷). "الگوریتم های ژنتیک و بهینه سازی سازه های مرکب". انتشارات عابد، تهران: ص ۲۵.
- ۹- برهانی داریان، عل. احمدی، م. (۱۳۸۷). "روش های کاهش ابعاد در مدل های برنامه ریزی پویای بهره برداری بهینه از سیستم چندمخزنه". **مجله مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی**، سال اول، پیش شماره سه: ص ۳۰-۴۲.
- ۱۰- بزرگ حداد، ا. خسروشاهی اصل، س. زارع زاده، م. جوان، پ. (۱۳۹۲). "توسعه مدل شبیه سازی-بهینه سازی در حفاظت از مناطق سیل گیر". **نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)**، جلد ۲۷، شماره ۳: ص ۴۶۲-۴۷۱.

- ۱۱- بیرامی، م.ک. (۱۳۹۱). "سازه‌های انتقال آب". انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. تعداد صفحه: ۴۶۲.
- ۱۲- جنت‌رستمی، س. خلقی، م. بزرگ‌حداد، ا. (۱۳۸۹). "مدیریت بهره برداری از سدهای مخزنی با استفاده از الگوریتم اصلاح شده جستجوی هارمونی". دانش آب و خاک (دانش کشاورزی)، دوره ۱/۲۰، شماره ۳: ص ۶۱-۷۱.
- ۱۳- حسینی موغاری، م. بنی حبیب، م. ا. (۱۳۹۳). "بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن برای تأمین آب کشاورزی با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب". نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال سوم، شماره چهارم: ص ۱۷-۳۱.
- ۱۴- حسینی، ع. جلالیان‌هاشمی، ف. (۱۳۹۳). "مقایسه عملیات خاکی، تغییرات حجم برداشت و هزینه جاده جنگلی با شرایط استاندارد ساخت (مطالعه موردی: سری ارزفون)". نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، جلد بیستم و یکم، شماره سوم: ص ۱۱۳-۱۳۰.
- ۱۵- حسینی، م. (۱۳۹۳). "آب و اقتصاد کشاورزی استان گلستان". انتشارات گلستان: لغت. تعداد صفحه ۱۵۳.
- ۱۶- حسینی، م. ابریشمی، ج. (۱۳۷۸). "هیدرولیک کانال‌های باز". انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). تعداد صفحه: ۶۱۶.
- ۱۷- حیدری، ع. صادقیان، م. افتخارجوادی، ا. نیک‌فال، م. باقری‌راهدانه، م. (۱۳۸۵). "کارگاه فنی همزیستی با سیلاب: سیمای طرح جامع کنترل سیلاب در سیلابدشت رودخانه‌های دز و کارون". انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران: ص ۲۱-۳۸.
- ۱۸- خادمی، ف. اکبری، م. (۱۳۹۳). "روش‌های کنترل سیلاب: اقدامات سازه‌ای". دومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب با رویکرد سیلاب‌های شهری. دبیرخانه دائمی کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، تهران: ص ۹.
- ۱۹- خلیلی‌زاده، م. مساعدی، ا. نجفی‌نژاد، ع. (۱۳۸۴). "پهنه‌بندی خطر سیل در بخشی از محدوده زیارت در حوضه آبخیز شهری گرگان". مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره چهارم: ص ۱۲۹-۱۴۶.
- ۲۰- دهقانی، ر. دهقانی، ن. عباسپور، د. (۱۳۹۳). "ارائه یک روش جدید در بهینه‌سازی اقتصادی سیستم انحراف سد با استفاده از الگوریتم ژنتیک". فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم، شماره شانزدهم: ص ۳۸-۴۸.
- ۲۱- دهقانی، ا. نصیری، ف. قدسیان، م. (۱۳۸۵). "یادداشت تحقیقاتی: استفاده از الگوریتم ژنتیکی و شبکه عصبی مصنوعی برای بهینه‌سازی مقاطع سدهای وزنی بتنی". نشریه فنی و مهندسی مدرس. شماره ۲۵: ص ۹۹-۱۱۲.
- ۲۲- رحیمی، ح. (۱۳۸۲). "سدهای خاکی". انتشارات دانشگاه تهران. تعداد صفحه ۶۷۱.
- ۲۳- رستگاری‌پور، ف. کرباسی، ع. (۱۳۹۳). "بهره برداری بهینه از مخزن سد لار کاربرد برنامه‌ریزی تصادفی نادقیق پنج مرحله‌ای". تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۶، شماره ۴: ص ۲۱-۷۳.

- ۲۴- رضانی‌اعتدالی، ه. لیاقت، ع. پارسی‌نژاد، م. توکلی، ع. ر. آبایی، ب. (۱۳۹۳). "پتانسیل‌یابی اراضی دیم و تخصیص بهینه‌ی آب بین اراضی آبی و دیم (مطالعه‌ی موردی: دشت قزوین)". **تحقیقات آب و خاک ایران**، دوره ۴۵، شماره ۲: ص ۱۶۷-۱۷۷.
- ۲۵- روغنی، م. طباطبایی، م. ر. شادفر، ص. (۱۳۸۶). "ارزیابی عملیات آبخیزداری و معرفی روشی در تعیین سازه‌های کنترل سیل". **مجله علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری در ایران**، سال چهارم، شماره ۱۳: ص ۵۱-۶۰.
- ۲۶- زهرایی، ب. تکشی، آ. (۱۳۸۷). "کاربرد روش‌های الگوریتم ژنتیک و K-نزدیکترین همسایه در تدوین سیاست‌های بهره‌برداری از مخزن در زمان وقوع سیلاب". **تحقیقات منابع آب ایران**، سال چهارم، شماره ۳: ص ۲۷-۳۷.
- ۲۷- زهرایی، ب. حسینی، س. م. (۱۳۹۳). "الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی مهندسی" چاپ دوم، انتشارات گوتنبرگ. تعداد صفحه ۲۹۸.
- ۲۸- زهرایی، ب. کارآموز، م. بهزادیان، ک. (۱۳۸۴). "مدل تلفیقی و بهره‌برداری از مخازن برق آبی: مطالعه موردی بر سیستم پاعلم-کرخه". **تحقیقات منابع آب ایران**، سال یکم، شماره ۱: ص ۵۸-۶۷.
- ۲۹- زینلی، م. محمدرضاپور، ا. فروغی، ف. (۱۳۹۴). "ارزیابی الگوریتم‌های ازدحام ذرات، ژنتیک و سیستم مورچگان پیوسته در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد درودزن". **نشریه دانش آب و خاک**. جلد ۲۵، شماره ۳: ص ۲۷-۳۸.
- ۳۰- سامانی، ح. (۱۳۷۶). "طراحی سازه‌های هیدرولیکی". انتشارات شرکت مهندسی مشاور دز آب. تعداد صفحه ۲۵۳.
- ۳۱- سلیمانی، آ. (۱۳۸۴). "نقشه‌برداری مسیر و قوس‌ها در راهسازی، جلد سوم". انتشارات آذرخش. تعداد صفحه: ۴۱۵.
- ۳۲- شجاع، ف. سلماسی، ف. فرسادی‌زاده، د. ناظمی، ا. م. نیک‌پور، م. ج. (۱۳۸۹). "تعیین پارامترهای بهینه در افزایش استهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک". **نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران**. انجمن هیدرولیک ایران، تهران.
- ۳۳- شعبانلو، س. صدقی، ح. ثقفیان، ب. جهرمی، ح. (۱۳۸۷). "پهنه‌بندی سیلاب در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از GIS". **مجله پژوهش آب ایران**، سال دوم، شماره سوم: ص ۱۱-۲۲.
- ۳۴- شفیعی، م. بزرگ‌حداد، ا. افشار، ع. (۱۳۸۴). "طرح بهینه مسیر استقرار دیواره‌های حفاظت سیلاب (گوره) در حاشیه رودخانه‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک و GIS". **پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران**.

- ۳۵- شمسائی، ا. (۱۳۸۳). "طراحی و ساخت سدهای مخزنی (جلد چهارم) تأسیسات هیدرولیکی". انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران. تعداد صفحه ۵۶۲.
- ۳۶- شمسائی، اب. (۱۳۸۳). "طراحی و ساخت سدهای مخزنی (جلد دوم) سدهای خاکی-سنگریزه‌ای". انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران. تعداد صفحه ۵۷۴.
- ۳۷- شمسائی، ا. احمدی، ح. (۱۳۸۷). "طراحی بهینه سدهای انحرافی با استفاده از روش توپولوژی". *مجله مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی*، سال اول، پیش شماره یک: ص ۷۹-۸۷.
- ۳۸- شهیدی‌پور، م. م. (۱۳۸۴). "بهینه‌سازی (تئوری و کاربرد)، جلد اول". انتشارات دانشگاه فردوسی (مشهد): ص ۱.
- ۳۹- شیخ خوزانی، ز. حسینی، خ. رحیمیان، م. (۱۳۸۹). "مدلسازی بهره‌برداری از مخازن چند منظوره به روش پویایی سیستم". *مجله مدل سازی در مهندسی*، سال هشتم، شماره ۲۱: ص ۵۷-۶۶.
- ۴۰- صداقت، م. (۱۳۸۷). "زمین و منابع آب (آبهای زیرزمینی)". انتشارات دانشگاه پیام نور: ص ۱۹۱.
- ۴۱- عرب، م. نیکو، م. ر. افضلی، س. ح. (۱۳۹۳). "بهینه‌سازی ابعاد پرتاب کننده جامی سدها (کاربرد رویکرد شبیه‌سازی-بهینه‌سازی)". *سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران*. دانشگاه تبریز.
- ۴۲- عصاره، ز. زمردیان، س. م. ع. (۱۳۸۹). "بهینه‌یابی ارتفاع سد و ابعاد سرریز با استفاده از الگوریتم ژنتیک". *نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران*، دانشگاه تربیت مدرس: ص ۱.
- ۴۳- علی‌محمدی، س. حسین‌زاده، ح. (۱۳۸۹). "بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه ابهر". *آب و فاضلاب*، دوره ۲۱، شماره ۳ (مسلسل ۷۵): ص ۷۵-۸۷.
- ۴۴- علیزاده، ام. (۱۳۹۱). "اصول هیدرولوژی کاربردی". انتشارات دانشگاه فرودسی مشهد. تعداد صفحه ۹۲۸.
- ۴۵- علیمحمدی، س. رفیعی‌انزاب، ن. مرادی، م. (۱۳۹۱). "طرح بهینه خاکریزهای کنار رودخانه (گوره) به روش آنالیز ریسک (مطالعه موردی رودخانه خشک شیراز)". *آب و فاضلاب*، شماره ۱: ص ۹۵-۱۱۰.
- ۴۶- علیمحمدی، س. سرابندی، ا. مجدزاده طباطبایی، ح. ر. (۱۳۹۰). "بهینه‌سازی ابعاد سیستم‌های ترکیبی (سد-گوره) مهار سیلاب". *تحقیقات منابع آب ایران*، سال هفتم، شماره ۳: ص ۲۷-۳۹.
- ۴۷- غفاری، م. افشار، م. ه. افشار، ه. (۱۳۸۵). "طراحی بهینه سیستم کنترل سیلاب عسلویه با استفاده از الگوریتم ژنتیک". *هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران*، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده عمران.
- ۴۸- فولادی، چ. (۱۳۷۹). "روش برآورد ارتفاع آزاد در سدهای بزرگ". انتشارات وزارت نیرو-کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، نشریه شماره ۲۹. تعداد صفحه ۴۲.

- ۴۹- مختاری، س. (۱۳۸۸). "راهکارهای کنترل سیلاب". فصلنامه مسکن و محیط روستا، دوره ۲۸، شماره ۱۲۶. ص ۸۹-۷۲.
- ۵۰- مرادی، م. علیمحمدی، س. رفیعی‌انزاب، ن. (۱۳۹۲). "طرح بهینه مخازن کنترل سیلاب (مطالعه موردی سد تنگ‌سرخ شیراز)". مجله علمی-پژوهشی هیدرولیک، دوره ۸، شماره ۲: ص ۷۳-۵۷.
- ۵۱- مصطفی‌کیا، س. (۱۳۹۱). "الگوریتم‌های ژنتیک در MATLAB" چاپ سوم، انتشارات دانشگاهی کیان (کیان رایانه سبز)، تعداد صفحه ۱۹۲.
- ۵۲- معراجی، ح. افشار، م. افشار، ع. (۱۳۸۷). "طراحی بهینه سیستم‌های کنترل سیلاب با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی Particle Swarm". نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، ویژه نامه مهندسی عمران، جلد ۱۹، شماره ۸: ص ۴۱-۵۳.
- ۵۳- مقصودی، ن. کوچک‌زاده، ص. (۱۳۸۸). "هیدرولیک کانال‌های باز (جلد اول)". انتشارات دانشگاه تهران. تعداد صفحه ۲۶۹.
- ۵۴- ملاحسینی، م. موسوی، ج. صلوئی‌تبار. (۱۳۹۰). "بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سدگرشا درحین سیلاب با استفاده از شبیه‌سازی برمبنای پویایی سیستم". چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- ۵۵- ملازاده، م. بارانی، غ. سلاجقه، ج. (۱۳۸۴). "بررسی آیین‌نامه‌های مختلف در بهینه‌سازی شکل سدهای بتنی وزنی با استفاده از الگوریتم ژنتیک". پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه صنعت آب و برق ایران.
- ۵۶- منتصری، م. دینی‌نیت، ا. قزل‌سوفلو، ع. (۱۳۸۹). "بهینه‌سازی ابعاد هسته رسی سدهای خاکی با استفاده از الگوریتم ژنتیک". مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۰/۱، شماره ۳: ص ۷۳-۸۶.
- ۵۷- مومنی، م. رضایی، ن. (۱۳۸۷). "مدل بهره‌برداری از مخزن سد ارس با استفاده از برنامه‌ریزی پویا". نشریه مدیریت صنعتی، دوره ۱، شماره ۱: ص ۱۳۹-۱۵۲.
- ۵۸- مهدوی، م. (۱۳۹۰). "هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم)". انتشارات دانشگاه تهران. تعداد صفحه ۴۳۷.
- ۵۹- نورزاد، ر. رضایان، ا. (۱۳۹۰). "بهینه‌سازی مقطع سدهای خاکی با الگوریتم بهینه‌سازی جامعه‌ی مورچه‌ها". ششمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه سمنان.

- ۶۰- نوروزی، ب. بارانی، غ. ع. مفتاح هلقی، م. دهقانی، ا. ا. (۱۳۹۰). "بهینه‌سازی بهره‌برداری از یک سیستم چند مخزنه به روش الگوریتم ژنتیک چند جمعیتی (مطالعه موردی: سدهای گلستان و وشمگیر) ". **مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک**، جلد هشتم، شماره چهارم: ص ۴۳-۶۴.
- ۶۱- نوری، م. شریفی، م. رجبی‌مشهدی، ح. (۱۳۸۷). "بهینه‌سازی چندهدفه مخازن با استفاده از الگوریتم ژنتیک". **سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران**. دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران: ص ۵.
- ۶۲- وزارت نیرو. (۱۳۸۰). "نشریه شماره ۲۴۲: راهنمای مهار سیلاب رودخانه (روش‌های سازه‌ای)". **انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور**. تعداد صفحه ۱۳۶.
- ۶۳- وزارت نیرو. (۱۳۸۳). "نشریه شماره ۲۷۲: راهنمای مطالعات بهره‌برداری از مخازن سدها". **انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور**. تعداد صفحه ۷۰.
- ۶۴- وزارت نیرو. (۱۳۸۴). "نشریه شماره ۳۰۷: راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه". **انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور**. تعداد صفحه ۱۰۴.
- ۶۵- وزارت نیرو. (۱۳۸۵). "راهنمای پادسیل‌سازی، ضابطه شماره ۶۸۱". **انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور**: ص ۱۲.
- ۶۶- وزارت نیرو. (۱۳۸۵). "نشریه شماره ۲۹۶-الف، راهنمای ارزیابی خسارت سیلاب". **انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور**: ص ۱۴.
- ۶۷- وزارت نیرو. (۱۳۸۸). "نشریه شماره ۵۲۱: راهنمای طراحی و بهره‌برداری تخلیه‌کننده عمقی مخازن سدها". **انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور**. تعداد صفحه ۱۵۶.
- ۶۸- وزارت نیرو. (۱۳۹۱). "راهنمای طراحی، ساخت و بهره‌برداری سامانه‌های انحراف سیلاب، نشریه شماره ۵۲۷". **انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور**: ص ۱ و ۱۶.
- ۶۹- ولایتی، س. (۱۳۹۲). "آبخیزداری". **انتشارات پیام‌نور**: ص ۲۲۶.
- ۷۰- ولیزادگان، ا. جلیلی، ف. نصرالله‌زاده اصل، غ. (۱۳۹۲). "بهره‌برداری بهینه از تخلیه‌کننده‌های تحتانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیوسته جهت کمینه‌سازی رسوب گذاری در مخازن سدها". **نشریه دانش آب‌و خاک**، جلد ۲۳، شماره ۳: ص ۶۷-۷۸.

۷۱- ولیزادگان، ا. شفاعی بجستان، م. سامانی، ح. م. (۱۳۹۰). "کمینه سازی رسوب گذاری در مخازن سدها با بهره برداری
 بهینه از تخلیه کننده تحتانی". **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**، علوم آب و خاک، سال پانزدهم،
 شماره پنجاه و پنج: ص ۵۷-۶۶.

۷۲- یزدی، ج. صالحی نیشابوری، س. ع. زهرایی، ب. (۱۳۹۲)، پایان نامه ارشد: "بهینه سازی اقدامات کنترل سیلاب در
 حوضه های آبریز با رویکرد غیر قطعی"، **دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست**، دانشگاه تربیت مدرس: ص
 ۲.

- 1- Adib, A. Ahmadeanfar, I. Salarijazi, M. Labibzadeh, M & Vaghefi, M. (2012). "Optimization of Released Water from the Dez Dam for Supply of Water Demands in the Downstream of Dam". *Applied Mechanics and Materials*, 147, pp. 187-190.
- 2- Afshar, M. H. Ketabchi, H. & Rasa, E. (2006). "Elitist Continuous Ant Colony Optimization Algorithm: Application to Reservoir Operation Problems". *International Journal of Civil Engineering*, 4. Pp. 274-285.
- 3- Afshar, M.H. and Motaei, I. (2011). "Constrained Big Bang-Big Crunch Algorithm for Optimal Solution of Large Scale Reservoir Operation Problem" *Int. J. Optim. Civil Eng.*, 2, pp.357-375.
- 4- Ahmadianfar, I. Radmanesh, F. & Salahisanandaj, Y. (2012). "An Improved particle swarm optimization algorithm for Hydropower reservoir system operation". *Archives Des Sciences*, 65, pp. 438-444.
- 5- Ahmed, A. M., suhaili, R., & Bhaya, SH. (2014). "A Genetic Algorithm Optimization Model for the Gravity Dam Section under Seismic Excitation with Reservoir- Dam-Foundation Interactions". *American Journal of Engineering Research (AJER)*, Volume-03, Issue-06, pp.143-153.
- 6- Allaby, Michael. (1998), "**FLOODS**". New York: Facts on File.
- 7- Baghlani, A. Sattari, M. & Makiabadi, M. H. (2014). "Application of genetic programming in shape optimization of concrete gravity dams by metaheuristics". *j. of. Civil & Environmental Engineering*, pp. 1-18.
- 8- Barahmand, N. Dini, E. (2015). "The Optimization of Section of Embankment Dams with Multiple Platforms and Rock Foundation through Bee Colony Optimization Method". *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 5(9), pp. 116-126.

- 9- Bozorg Haddad, O. Sharifi, F. & Naderi, M. (2005). "Optimum Design of Stepped Spillways Using Genetic Algorithm". Proceedings of the 6th WSEAS Int. Conf. on EVOLUTIONARY COMPUTING, Lisbon, Portugal, pp.325-331.
- 10- Chenari, K. S., Ghaderi, M. & Khaleghi, M. R. (2014). "Improved adaptive genetic algorithm and its application in short-term optimal operation of water resources system". **Research Journal of Agriculture and Environmental Management**, 3 (4), pp. 209-217.
- 11- Chuntian, C. (1999). "Fuzzy optimal model for the flood control system of the upper and middle reaches of the Yangtze River". **Hydrological Sciences Journal**, 44(4), pp. 573-582.
- 12- Daraeikhah, M. Meragi, H. & Afshar, M. H., (2009). "Application of Particle Swarm Optimization to Optimal Design of Cascade Stilling Basins". **Scientia Iranica, Civil Engineering**, 16(1), pp. 50-57.
- 13- Deepika, R. Suribabu, C. R. (2015) "Optimal Design of Gravity Dam Using Differential Evolution Algorithm". **Int. J. Optim. Civil Eng.**, 5(3), pp. 255-266.
- 14- Duren, F. Beard, L. (1972). "optimizing flood control allocation for a multipurpose reservoir". **J. of. The American Water Resources Association**, Volume 8, Issue 4, pp. 735–744.
- 15- Fallah-Mehdipour, E., Bozorg Haddad, O. & Marino, M. A. (2012). "Real-Time Operation of Reservoir System by Genetic Programming". **J. of. Water Resour Manage**, 26.
- 16- Furuta, H. Hase, H. Watanabe, E. Tonegawa, T. & Morimoto, H. (1995). "Applications of genetic algorithm to aesthetic design of dam structures". **Advances in Engineering Software**, 25, pp. 185-195.
- 17- Golkar Hamzee Yazd, H. Arabshahi, J. Tavousi, M. & Alvani, A. (2015). "Optimal Designing of Concrete Gravity Dam using Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO)". **Indian Journal of Science and Technology**, 8(12), pp. 1-10.
- 18- Hamidian, D. Seyedpoor, S. M. (2010). "Shape optimal design of arch dams using an adaptive neuro-fuzzy inference system and improved particle swarm optimization". **J. of. Applied Mathematical Modelling** 34, pp.1574–1585.
- 19- Holland, J. H. (1992). "Genetic Algorithms". **j. of. Scientific American**, pp. 66-72.
- 20- Hreinsson, B. Eliasson, J. (2002). "Optimal Design and Cost/Benefit Analysis of Hydroelectric Power Systems by Genetic Algorithms". VIII Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, pp. 1-7, Brazil, Brasília.
- 21- Husain, A. (2012). "An Overview of Reservoir Systems Operation Techniques". **International Journal of Engineering Research and Development**, 4(10), PP. 30-37.

- 22- Karamouz, Z. Imani, M. Ahmadi, A. & Moridi, A. (2009). "Optimal Flood Management Options with Probabilistic Optimization: A CASE STUDY". *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*, 33, B1, pp. 109-121.
- 23- Keedwell, E. Khu, S. T. (2005). "A hybridgenetic algorithm for the design of water distribution networks". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 18, pp.461–472.
- 24- Labadie, J. (2004). "Optimal Operation of Multi reservoir Systems: State-of-the-Art Review". *J. of. Water Resources Planning and Management*, pp. 93-111.
- 25- Lin, N. Rutten, M. (2016). "Optimal Operation of a Network of Multi-Purpose Reservoir: A Review". 12th International Conference on Hydro informatics, Pp. 1376 – 1384.
- 26- Man, K. F., Tang, K. S., Kwong, S. (1996). "Genetic Algorithms: Concepts and Applications". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 43 (5), pp. 519-534.
- 27- Marcos M. Fairbairn, E. Fairbairn D. Filho, N. Ebecken, & Jose L. D. Alves (2003). "Optimization of Dam Construction Costs Using Genetic Algorithms". 16th ASCE Engineering Mechanics Conference, University of Washington, Seattle, pp.1.
- 28- Mays L. W. (2005). "*Water Resources Engineering*". John Wiley & Sons, Inc. Pp 15.
- 29- Mohammadi, M. Barani, G., A. Ghaderi, K. & Haghighatandish, S. (2013). "Optimization of earth dams clay core dimensions using evolutionary algorithms". *European Journal of Experimental Biology*, 3(3), pp.350-361.
- 30- Monadi, M. Samani, M. & Mohammadi, M. (2016). "Optimal Design and Benefit/Cost Analysis of Reservoir Dams by Genetic Algorithms Case Study: Sonateh Dam, Kordistan Province, Iran". *International Journal of Engineering Transactions A: Basics*, 29 (4), pp. 482-489.
- 31- Montaseri, M. Afshar, M. H., & Hadad, B. (2014). "Development of Simulation-Optimization Model for Storm Water Treatment Measure Optimization (Case Study: Gold Coast City, Australia)". *J. of. Civil Engineering and Urbanism*, Volume 4, Issue 3, pp.266-273.
- 32- Nandlal, K. sakthivadivel, R. (2002). "Planning and management of a complex water resource system: case of Samanalawewa and Udawalawe reservoirs in the Walawe river, Sri Lanka". *J. of. Agricultural Water Management* 57(3), pp.207-221.
- 33- Needham, J. Watkins, D. & Lund, J. (2000). "Linear Programming for Flood Control in the Low and Des Moines Rivers". *J. of. Water Resources Planning and Management*, pp. 118-127.
- 34- Prakash, O. Srinivasan, K. & Sudheer, K. P. (2014). "Simulation-Optimization Framework for the Optimal Flood Mitigation Operation of Multi-Reservoir System". *Journal of Civil Engineering and Architecture Research*, 1(5), pp. 300-311.

- 35- Rani, Deepti. (2013). "Genetic Algorithms and Their Applications to Water Resources Systems". *Osmania Journal of Social Sciences*, Pp. 43-78.
- 36- Sattari, M. T., Halit, A., Fazli, O. (2009). "Operation analysis of Eleviyan irrigation reservoir dam by optimization and stochastic simulation". *J. of. Stoch Environ Res Risk Assess* 23, pp.1187–1201.
- 37- Shin, H. Joo, C. & Koo, J. (2016). "Optimal Rehabilitation Model for Water Pipeline Systems with Genetic Algorithm". 12th International Conference on Hydro informatics, pp. 384-390.
- 38- Sonaliya, S. Suryanarayana, V. (2014). "Optimal Reservoir Operation Using Genetic Algorithm: A Case Study of Ukai Reservoir Project". *Int. J. Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, pp. 13681-13687.
- 39- Valdes, J. Marco, J. (1995). "Managing Reservoirs For Flood Control". U.S. - Italy Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts, and Management of Extreme Floods, pp. 1.
- 40- Vuuren, V. Rooyen, V. Fouche, W. Haarhoff, J. (2008). "Potential Application of Genetic Algorithms in the Water". *Water Research Commission*, 34(5), pp.537-548
- 41- Zarghani, F. H. Barahmand, N. (2015). "Shape Optimal Design of an Earth Dam, Using Artificial Bee Colony Algorithm". *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 5(S3), pp. 2469-2476.

Abstract

Structural and non-structural methods, of flood controlling, are two main methods which can be used in the flood control projects. Due to the enormous costs of flood control projects, optimal designing of flood control systems are of the great importance issue the water engineering problem. The main objective of this research is to develop an integrated model of simulation and optimization for optimum design of hybrid systems of flood control, so that in addition to flood control, the system also has the ability to supply the needs of the downstream.

In this regard, this study examines the optimum methods of structural and non-structural flood control systems. Structural flood control methods, parameters such as height of the dam, channel dimensions, the channel slope, the volume of excavation of the fill are the decision variables. Also for the method of non-structural flood control (optimal operation of the reservoir), the effectiveness of GA where evaluated. To compare the efficiency of genetic algorithms in the context of optimal operation, the standard operating procedure was use. Result show that for objective function, genetic algorithm has the minimum objective function value (0.0000045) compared to the standard operation method (0.0037), its performance was better than that method. Results show that with optimization method, it is possible to reduce the construction cost, as 6 % (about 4 billion USD) compared to ordinary method

Key words: simulation, optimization, genetic algorithms, flood control systems, Optimal operation.



Faculty of Agriculture

MSc Thesis in Agricultural Water Structures Engineering

Optimal design of flood control systems kaboodval dam using genetic algorithm

By: Sajjad Ghosh kor pi

Supervisor:

Dr. Zahra Ganji Noroozi

Advisor:

Dr. Samad Emamgholi Zade

February 2017