Archive of SID
3rd International Conference On Modern Research in
AGRICULTURAL SCIENCE AND ENVIRONMENT
سومین کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در
علوم کشاورزی و محیط زیست
15 December 2016 Singapore
۲۵ آذر ۱۳۹۵ سنگاپور

ارائه منحنی فرمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: سد تهم)

زینب بیگلی
کارشناس بهره برداری از شبکه های آبیاری و زهکشی، شرکت آب منطقه ای زنجان (کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه ارومیه)
zbeigli@yahoo.com

محمود سرمستی
رئیس اداره نظارت بر شبکه ها، شرکت آب منطقه ای زنجان (دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد مراغه)

علی سلیمی
رئیس اداره نظارت بر سدها، شرکت آب منطقه ای زنجان (کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی زنجان)

علی رستمی
کارشناس ایمنی و پایداری سدها، شرکت آب منطقه ای زنجان (دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی زنجان)

چکیده
منابع آب سطحی سهم عمده ای در تأمین نیازهای مختلف دارا می باشند. در سال های اخیر به دلیل کاهش بارندگی ها و خشکسالی های پی در پی مدیریت منابع بیش از پیش احساس می شود. بدین منظور، مدیران جهت برنامه ریزی استفاده بهینه از منابع آب بخصوص سدها به اتخاذ سیاست های بهینه بهره برداری از مخازن نیاز دارند تا کمترین شکست در طول دوره بهره برداری روی دهد. سیاست بهره برداری با منحنی فرمان ارائه می گردد. در این مطالعه جهت ارائه منحنی فرمان سد تهم، به عنوان اصلی ترین تأمین کننده آب شرب شهر زنجان، روش الگوریتم ژنتیک (GA) در محیط نرم افزار MATLAB13تهیه و اجرا گردید. در این راستا سه سناریوی خوش بینانه، متوسط و بدبینانه به مدل معرفی نموده و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد مجموع مقادیر رهاسازی در هر سه سناریو تقریباً یکسان برآورد شده است و به تبع آن میزان حجم ذخیره در پایان دوره ۱۲ ماهه در هر سه سناریو نیز مشابه بدست آمده است این امر حاکی از این است که صرف نظر از سناریوهای معرفی شده با جریان ورودی و خروجی های متفاوت، سد تهم قابلیت تأمین آب تا میزان ۲۳ میلیون مترمکعب و با کمترین شکست را دارا می باشد. همچنین مجموع مقادیر رهاسازی در دو سناریوی خوش بینانه و متوسط بالاتر از میزان تقاضاهای تعریف شده می باشد و تنها در سناریوی بدبینانه در برخی دوره ها شکست در تأمین نیازهای پایین دست مشاهده می شود.

واژگان کلیدی: منحنی فرمان، الگوریتم ژنتیک، سد تهم

www.SID.ir

مقدمه

منابع آب سطحی در ایران سهم عمده‌ای در تأمین نیاز آبی بخش‌های مختلف شرب، کشاورزی و صنعت دارا می‌باشند. آبدهی رودخانه‌ها و نیازها از نظر زمانی با یکدیگر همخوانی ندارند و اعتمادپذیری تأمین آب به شدت کاهش می‌یابد که ممکن است خسارات زیادی به بخش‌های مصرف کننده آب وارد آورد. جهت استفاده مناسب باید بهره‌برداری از سدهای مخزنی به‌نحوی انجام شود که کمترین کمبود را در طول دوره بهره‌برداری داشته باشیم. سیاست بهره‌برداری با منحنی فرمان بیان می‌شود (خادمی و عمادی، ۱۳۸۹). منحنی‌های فرمان بهره‌برداری مخازن طوری عمل می‌کنند که فراوانی کمبودها تا حداکثر مجاز مطابق با درصد تضمین مربوطه افزایش و حداکثر شدت کمبود ماهانه کاهش یابد (خلف و شکراللهی، ۱۳۸۷). انتظار می‌رود که افزایش دمای جهان، الگوی بارندگی و به تبع آن میزان رواناب و حجم جریان ورودی به مخزن، رطوبت خاک، آب مورد نیاز کشاورزی و سایر عوامل اقلیمی را تحت تاثیر قرار دهد. مخازن سازه‌هایی هستند که توسط بشر برای کنترل جریان رودخانه جهت تامین نیازهای آبی ساخته می‌شوند. محدودیت منابع آب و ثابت ماندن مقدار کل آن، افزایش جمعیت و رشد اقتصاد و روند صنعتی شدن شهرها و متعاقب آن روند روزافزون رشد تقاضا لزوم بهره‌برداری بهینه از مخازن را ایجاب می‌نماید.

ممتحن و داریان در سال ۲۰۰۷ از GA در بهینه‌سازی ساختارهای مختلفی از سیاست‌های بهره‌برداری برای یک سیستم تک مخزنی استفاده کردند و عملکرد آن را با روش‌های برنامه‌ریزی پویای احتمالاتی (SDP) و برنامه‌ریزی پویای رگرسیون (DPR) به عنوان دو روش مرسوم بهینه‌سازی مقایسه نمودند. آن‌ها سیاست‌های با ساختار ساده خطی و خطی قطعه‌ای به دست آمده از روش GA را برتر از سیاست‌های حاصل از روش‌های بهینه‌سازی مرسوم گزارش کردند (ممتحن و همکاران، ۱۳۸۴) . داریان و ممتحن در سال ۲۰۰۹ سیاست بهره‌برداری خطی و خطی قطعه‌ای را با انجام پاره‌ای اصلاحات در عملگرهای الگوریتم ژنتیک در سیستم‌های چند مخزنه به‌کار بردند (Dariane and Momtahen,2009). هاشمی و همکاران از الگوریتم ژنتیک برای بهینه-سازی بهره‌برداری از مخزن چند منظوره جیرفت استفاده کردند. نتایج آن تحقیق نشان می‌دهد، سد جیرفت در خشکسالی‌های شدید نیز با استفاده از روش بهینه بهره‌برداری قادر به تأمین نیازهای پایین‌دست است (Hashmi et al,2011). بیگلی و همکاران منحنی فرمان سد ماکو را با دو روش شبیه سازی و بهینه سازی در شرایط کنونی و با بررسی تغییر اقلیم ارائه دادند (بیگلی و همکاران، ۱۳۹۲). داویجانی و همکاران در مطالعه‌ای به ارزیابی مدل‌های بهینه سازی الگوریتم هوش جمعی PSO و الگوریتم ژنتیک GA درمدیریت تخصیص منابع آب پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های بهینه سازی PSO,GA می‌تواند مفید واقع گردد و دربهینه سازی الگوی کشت و همچنین درافزایش سود اقتصادی درمناطق خشک نظیر حوضه کویر مرکزی مفید واقع شود (داویجانی و همکاران، ۱۳۹۱). تقیان و همکاران در مطالعه‌ای با استفاده از یک مدل هیبریدی برنامه ریزی خطی- الگوریتم ژنتیک به بهینه سازی منحنی فرمان سیستم‌های چند مخزنی پرداختند. نتایج نشان داده است که مدل اجرا شده سرعت همگرایی بهینه سازی را افزایش داده و کل روند برنامه ریزی و مدیریت در سیستم های پیچیده بسیار انعطاف پذیر نموده است (تقیان و همکاران، ۱۳۹۰)

در مطالعه حاضر با توجه به نیاز روزافزون آب در استان زنجان و کاهش ذخایر زیرزمینی و تأمین بخش عمده ای از آب شرب شهر زنجان که از سد تهم تأمین می گردد، واحد بهره برداری شرکت آب منطقه ای را برآن داشت تا الگوی بهره برداری بهینه ای را با استفاده از ابزار قدرتمند الگوریتم ژنتیک ارائه دهد تا مدیریت بهتری بر روی آب این سد صورت پذیرد.

www.SID.ir

روش تحقیق

مقدمه

در این مطالعه به جهت بررسی قابلیت تأمین نیاز پایین دست سد تهم سه سناریو در حالت خوش بینانه، متوسط و بدبینانه به عنوان ورودی به مدل معرفی گردید. در سناریوی حالت خوش بینانه جریان ورودی منطبق بر شدیدترین دوره ترسالی، با کمترین مقدار تقاضا و تبخیر، در سناریوی حالت متوسط مقادیر جریان ورودی ، تقاضا و تبخیر همگی میانگین پارامترهای مذکور در طول دوره آماری و در سناریوی حالت بدبینانه مقادیر جریان ورودی منطبق بر شدیدترین دوره خشکسالی در طول دوره آماری، میزان تقاضا منطبق بر بیشترین تقاضای مورد نیاز پایین دست و میزان تبخیر منطبق بر بیشترین تبخیر سالانه ثبت شده در طول دوره آماری در نظر گرفته شده است. در جدول ۱ مقادیر مربوط به سه سناریوی تعریف شده ارائه گردیده است.

جدول ۱: مقادیر معرفی شده به مدل در سه سناریوی تعریف شده

ماه	داده های ورودی سناریوی حالت بدبینانه			داده های ورودی سناریوی حالت متوسط			داده های ورودی سناریوی حالت خوش بینانه		
	جریان ورودی(mcm)	تقاضا (mcm)	تبخیر (mcm)	جریان ورودی(mcm)	تقاضا (mcm)	تبخیر (mcm)	جریان ورودی(mcm)	تقاضا (mcm)	تبخیر (mcm)
۱	۰.۰٤۸	۲.۰۸	۰.۱۵	۰.۰۸۸	۰.۹۷٤	۰.۲۳۸	۰.۰٦٤	۰.٦۱۷	۰.۱۰۷
۲	۰.۰۱٤	۱.۹۹	۰.۱۱	۰.۳٦۸	۰.۸٦۱	۰.۰۷۲	۱.۵۲۸	۰.۵۱۲	۰.۰٦۵
۳	۰.۰٤۳	۱.۸۱	۰.۰٤	۰.٦۱۵	۰.۷۹٤	۰.۰۲۹	۱.٤٤۲	۰.٤۱۵	۰.۰۱۵
٤	۰.۰٤۰	۱.۸۳	۰.۰۰	۰.٤۲۱	۰.۷۸۸	۰.۰۱۱	۰.۷٦۲	۰.٤٦۵	۰.۰۰۷
۵	۰.۰۳۲	۱.۸۱	۰.۰۰	۱.۰۰٦	۰.۸۱۳	۰.۰۱۲	۱.۷۳۲	۰.٤۲۷	۰.۰۰٦
٦	۰.۷۷٤	۱.۹۲	۰.۰۰	۲.۵۷٤	۰.۸۲۱	۰.۰۲٤	٦.۵۰٦	۰.٤۰۱	۰.۰۱۵
۷	۲.۱٤۵	۱.۹۳	۰.۱۱	۵.۸۰۷	۰.۷۹٦	۰.۰۷۷	۱۲.۳۱۰	۰.٤۳۲	۰.۰۵٤
۸	۰.۱۵۸	۲.۰۳	۰.٦۲	۳.٤٦۲	۰.۹۷۱	۰.۲۵۷	۳.۲۷۲	۰.٤۱٤	۰.۲٤۳
۹	۰.۳۳۹	۲.۰۵	۰.٦۹	۰.٦۹۲	۱.۰۷۲	۰.٤۱۵	۰.۹۸۲	۰.٦٦۲	۰.۲۷٦
۱۰	۰.٦۵۰	۲.۱۸	۰.۷٤	۰.۳٦۷	۱.۱۲۸	۰.۵۰۹	۰.۳۸۱	۰.۷۱٤	۰.۲٤٤
۱۱	۰.۷۵۰	۲.۲٦	۰.۹۱	۰.۲۰۵	۱.۱۵٦	۰.۵٦۲	۰.۱۳۸	۰.۷۳۵	۰.۲۱۸
۱۲	۰.۱۱۵	۲.۲٤	۰.۵۳	۰.۰۷۰	۱.۲۱٦	۰.۳۹۵	۰.۰۵۹	۰.۹۹۰	۰.۱۸۰
جمع	5.11	۲٤.۱۳	۳.۸۸	۱۵.٦۸	۱۱.۳۹	۲.٦	۲۹.۱۸	٦.۷۸	۱.٤۳

موقعیت جغرافیایی سد تهم

سد تهم در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال غربی شهر زنجان و در ۸ کیلومتری پایین دست روستای تهم قرار دارد. طـول و عـرض جغرافیایی محل سد به ترتیب ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه و ۴۷ ثانیه و ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه و ۱۸ ثانیه است. محل احداث سـد در

www.SID.ir

فاصله ۳۰۰ متری پایین دست محل تلاقی رودخانه های تهم وگلهرود که تشکیل دهنده رودخانه سارمساقلو هستند، واقع شده است. این رودخانه نیز از شاخه های زنجان رود بوده که زنجانرود نیز خود از سرشاخه های رودخانه قزل اوزن می‌باشد. هدف از احداث این سد تأمین آب شرب شهر زنجان به میزان سالانه ۳۰,۷ میلیون متر مکعب (جریان به هنگام رودخانه سهرین و آب تنظیمی سد تهم) و نیز تأمین سهم حقابه های پایین دست به میزان ۴,۱ میلیون متر مکعب در سال می باشد. ارتفاع سد از بستر رودخانه ۱۱۹ متر و حداکثر حجم مخزن در تراز نرمال ۸۴/۴۰۶ میلیون متر مکعب است. مشخصات عمومی سد تهم مطابق جدول ۲ است.

جدول۲: مشخصات عمومی سد تهم

نوع سد	خاکی با هسته رسی	حجم کل مخزن	۸۴,۴ میلیون متر مکعب
ارتفاع سد از پی	۱۲۳,۷ متر	حجم مفید مخزن	۷۹,۴ میلیون متر مکعب
عرض سد در پی	۵۰۰ متر	سیستم تخلیه تحتانی	شفت قائم
طول تاج	۴۵۱ متر	ظرفیت تخلیه	۴۵ متر مکعب در ثانیه
عرض تاج	۱۲متر	نوع سرریز	نیلوفری

داده‌های مورد نیاز مطالعه

داده های جریان رودخانه: در این مطالعه به منظور تحلیل مخزن، از داده‌های جریان ماهانه ایستگاههای هیدرومتری رودخانه های تهم و گلهرودکه در بالادست سد تهم قرار دارند، استفاده شده است. مجموع مقادیر جریان ماهانه این دو ایستگاه در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به مقادیر میانگین متحرک ۲ ساله جریان، شدیدترین دوره خشکسالی منطبق بر سال آبی ۸۷-۸۶ می‌باشد. کمترین مقدار جریان ثبت شده در محل سد برابر ۰,۰۱ و بیشترین مقدار آن ۱۴,۴۲ می‌باشد. همچنین بیشترین آورد سالانه طی سال آبی ۹۵-۹۴ مشاهده شده است. خصوصیات آماری داده‌های ماهانه این ایستگاهها در جدول ۴ ارائه شده است. مقادیر بالای ضریب تغییرات (CV>0.3) در جدول ۴حاکی از پراکندگی داده های جریان ورودی در طی سال‌های آماری می باشد.

جدول۳: داده های ماهانه جریان ورودی به سد تهم در طی سال های آماری مورد مطالعه

سال آبی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	آورد سالانه
۸۴-۸۵	۰.۲۱	۰.۳۴	۰.۲۲	۰.۳۸	۲.۳۲	۲.۴۴	۴.۱۵	۳.۵۴	۰.۶۳	۰.۱۱	۰.۰۴	۰.۰۲	۱۴.۴۰
۸۵-۸۶	۰.۰۴	۰.۰۸	۰.۱۱	۰.۰۸	۰.۳۰	۰.۷۰	۱۰.۷۵	۳.۲۵	۰.۵۹	۰.۱۲	۰.۰۸	۰.۰۴	۱۶.۱۳
۸۶-۸۷	۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۷۷	۲.۱۵	۰.۱۶	۰.۳۴	۰.۶۵	۰.۷۵	۰.۱۲	۵.۱۱
۸۷-۸۸	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۳۳	۰.۲۲	۰.۶۶	۲.۱۶	۲.۲۴	۳.۹۲	۰.۸۵	۰.۶۵	۰.۱۷	۰.۰۸	۱۱.۳۴
۸۸-۸۹	۰.۱۰	۰.۵۶	۱.۰۴	۱.۱۲	۱.۷۵	۴.۹۷	۲.۶۹	۱۰.۷۱	۰.۷۳	۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۰۵	۲۳.۷۷
۸۹-۹۰	۰.۰۹	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۱۹	۰.۲۷	۱.۶۳	۴.۳۸	۳.۶۷	۰.۶۰	۰.۱۶	۰.۰۴	۰.۰۳	۱۱.۲۰
۹۰-۹۱	۰.۰۷	۰.۲۷	۰.۵۹	۰.۵۱	۰.۷۸	۱.۲۰	۱۴.۴۲	۶.۲۰	۱.۱۷	۰.۵۵	۰.۳۴	۰.۱۴	۲۶.۲۴
۹۱-۹۲	۰.۰۶	۰.۶۲	۰.۷۹	۰.۱۹	۱.۷۵	۳.۵۰	۲.۰۶	۰.۶۸	۰.۴۴	۰.۳۹	۰.۳۷	۰.۰۵	۱۰.۹۰
۹۲-۹۳	۰.۰۶	۰.۲۱	۱.۱۵	۰.۵۰	۰.۶۳	۲.۷۱	۵.۲۱	۱.۵۲	۰.۷۹	۰.۵۵	۰.۰۴	۰.۰۴	۱۳.۴۲
۹۳-۹۴	۰.۲۱	۰.۳۲	۰.۹۷	۰.۶۵	۰.۸۶	۱.۷۳	۳.۵۱	۱.۱۶	۰.۴۹	۰.۴۵	۰.۲۶	۰.۱۴	۱۰.۷۵
۹۴-۹۵	۰,۰۶۴	۱,۵۳	۱,۴۴	۰,۷۶	۱,۷۳	۶,۵۱	۱۲,۳۱	۳,۲۷	۰,۹۸	۰,۳۸	۰,۱۴	۰,۰۶	۲۹,۱۸

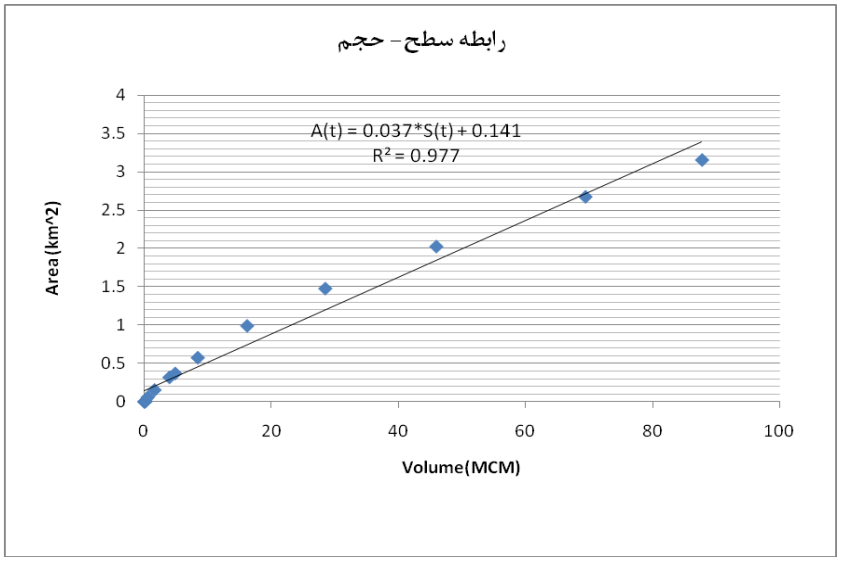
www.SID.ir

جدول ۴: خصوصیات آماری داده های ماهیانه جریان ورودی به سد تهم

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
میانگین	۰.۰۹	۰.۳۷	۰.۶۲	۰.۴۲	۱.۰۱	۲.۵۷	۵.۸۱	۳.۴۶	۰.۶۹	۰.۳۷	۰.۲۱	۰.۰۷
انحراف معیار	۰.۰۷	۰.۴۳	۰.۴۹	۰.۳۳	۰.۷۵	۱.۸۰	۴.۴۸	۲.۹۷	۰.۲۴	۰.۲۳	۰.۲۲	۰.۰۴
ضریب تغییرات	۰.۷۴	۱.۱۸	۰.۸۰	۰.۷۸	۰.۷۵	۰.۷۰	۰.۷۷	۰.۸۶	۰.۳۵	۰.۶۲	۱.۰۷	۰.۶۴

داده‌های تقاضا در پایین دست سد: هدف اصلی احداث مخازن ذخیره، تأمین آب مورد نیاز در پایین دست سد در ماه‌های مختلف سال است. نیاز پایین دست سد ممکن است مربوط به بخش‌کشاورزی، شرب، صنعت، زیست محیطی و.... باشد. احداث سد مخزنی تهم با هدف تأمین آب شرب بخش وسیعی از شهر زنجان می باشد. جهت ارائه منحنی فرمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک مطابق رابطه ۲ میزان برآورد تقاضا در ماه های مختلف مورد نیاز است. در این مطالعه بدلیل ارائه منحنی فرمان در ۳ سناریوی حالت خوش بینانه، حالت متوسط و حالت بدبینانه میزان تقاضا در ۳ حالت نیز متفاوت می باشد. در جدول۱ مقادیر تقاضای معرفی شده به مدل در ۳ سناریو آورده شده است.

رابطه سطح وحجم مخزن: به منظور محاسبه تبخیر خالص حجمی از دریاچه (تبخیر منهای بارندگی) و وارد کردن آن در تحلیل مخزن به رابطه سطح-حجم مخزن نیاز می‌باشد. رابطه رگرسیون خطی بین مساحت و حجم در هر تراز ارتفاعی و منحنی سطح- حجم مخزن در شکل ۱ آمده است (مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۳۸۸). در جدول ۳ مقادیر ورودی در ۳ سناریو آورده شده است.



شکل ۱: منحنی رابطه سطح-حجم سد تهم

داده‌های تبخیر و بارندگی در محل احداث سد: در معادله توازن جرمی تحلیل مخزن تبخیر از سطح آزاد آب و مقدار بارندگی در سطح مخزن به عنوان پارامترهای مؤثر در تعیین حجم مخزن می‌باشند. مقادیر متوسط ماهانه تبخیر از سطح آزاد آب و بارندگی در محل سد تهم در جدول۵ آمده است. مطابق جدول مذکور در طول سال های آماری بیشترین میزان تبخیر در

www.SID.ir

مرداد ماه با میزان ۲۸۵,۹ میلی متر و بیشترین میزان بارندگی در آبان ماه برابر با ۳۸,۱۳ میلی متر روی داده است.همچنین مقادیر بالای تبخیر سالانه در محل سد تهم حاکی از هدر رفت حجم قابل توجهی از آب ذخیره شده در مخزن سد می باشد، که نیازمند تدبیر مدیریتی در جهت کاهش هدررفت می باشد.

جدول ۵: مقادیر بارندگی ماهانه و متوسط تبخیر در طی سال های آماری در محل سد تهم

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مجموع
متوسط تبخیر ماهانه (mm)	۱۳۴.۵	۴۳.۵	۱۹.۴	۷.۴	۷.۷	۱۲.۳	۳۷.۲	۱۲۳.۱	۱۹۸.۲	۲۵۱.۹	۲۸۵.۹	۲۰۷.۶	۱۳۲۸.۵
متوسط بارندگی ماهانه (mm)	۸.۴۵	۳۸.۱۳	۵.۹۲	۴.۶۲	۱۷.۱	۱۱.۲	۲۶.۸۲	۲۱.۲۰	۵.۰۲	۵.۹۵	۱.۶۰	۵.۵۸	۱۵۱.۵

معرفی روش الگوریتم ژنتیک

از دهه ۱۹۶۰ توجه به روش‌های الهام گرفته از طبیعت برای حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده مهندسی افزایش یافت. شبیه‌سازی فرآیند تکامل طبیعت منجر به پیدایش روش‌های بهینه‌سازی احتمالاتی موسوم به الگوریتم‌های تکاملی(EA) گردید که از میان آن‌ها شاید الگوریتم ژنتیک بیشتر شناخته شده باشد (Gen and Cheng,1997). الگوریتم ژنتیک یکی از اعضای خانواده مدل‌های محاسباتی الهام گرفته شده از روند تکامل است. این الگوریتم که تحت عنوان عمومی برنامه‌ریزی تکاملی[2](EP) دسته بندی می‌شود، با الهام از تئوری تکامل طبیعی داروین ابداع شد و مکانیزم انتخاب طبیعی و ژنتیک طبیعی اساس آن را تشکیل می‌دهد (Labadie,2004). این الگوریتم با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نقاط فضای جواب در هر تکرار محاسباتی به نحو مؤثری نواحی مختلف فضای جواب را جستجو می‌کند. در مکانیزم جستجو گرچه مقدار تابع هدف تمام فضای جواب محاسبه نمی‌شود ولی مقدار محاسبه شده تابع هدف برای هر نقطه، در متوسط‌گیری آماری تابع هدف برای هر نقطه و در متوسط‌گیری آماری تابع هدف در کلیه زیر فضاهایی که آن نقطه به آنها وابسته بوده، دخالت داده می‌شود و این زیر فضاها به طور موازی از نظر تابع هدف متوسط‌گیری آماری می‌شوند. این مکانیزم را توازی ضمنی[3]می‌گویند. این روند باعث می‌شود که جستجوی فضا به نقاطی از آن که متوسط آماری تابع هدف در آنها زیاد بوده و امکان وجود نقطه بهینه مطلق در آن‌ها بیشتر است سوق پیدا کند. چون در این روش برخلاف روش‌های تک‌مسیری فضای جواب به طور همه جانبه جستجو می‌شود، امکان کمتری برای همگرایی به یک نقطه بهینه محلی وجود خواهد داشت. در هر تکرار هر یک از رشته‌های موجود در جمعیت رشته‌ها، رمزگشایی شده و مقدار تابع هدف برای آن به‌دست می‌آید. بر اساس مقادیر به دست آمده تابع هدف در جمعیت رشته‌ها، به هر رشته یک عدد برازندگی نسبت داده می‌شود. این عدد برازندگی احتمال انتخاب را برای هر رشته تعیین خواهد کرد. بر اساس این احتمال انتخاب، مجموعه‌ای از رشته‌ها انتخاب شده و با اعمال عملکردهای ژنتیکی روی آن‌ها رشته‌های جدید جایگزین رشته‌هایی از جمعیت اولیه می‌شوند تا تعداد جمعیت رشته‌ها در تکرارهای محاسباتی مختلف ثابت باشد. مکانیزم‌های تصادفی که روی انتخاب و حذف رشته‌ها عمل می‌کنند به گونه‌ای هستند که رشته‌هایی که عدد برازندگی بیشتری دارند، احتمال بیشتری برای ترکیب و تولید رشته‌های جدید داشته و در مرحله جایگزینی نسبت به دیگر رشته‌ها

[1]Evoloutionary Algorithms
[2]Evoloutionary Programming
[3] Implicit Parallelism

www.SID.ir

مقاوم‌تر هستند. بدین لحاظ جمعیت دنباله‌ها در یک رقابت بر اساس تابع هدف در طی نسل‌های مختلف، کامل شده و متوسط مقدار تابع هدف در جمعیت رشته‌ها افزایش می‌یابد (گرشاسبی، ۱۳۸۶).

نحوه تطبیق روش الگوریتم‌های ژنتیک در تحلیل مخزن

به منظور تعیین و استفاده از تابع هدف مناسب در بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم مخازن عامل‌هایی از قبیل بازده سیستم و پایداری آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در سیستم تک مخزنه مورد بررسی در این مطالعه، تابع هدف حداقل ساختن عدم تأمین نیاز پایین دست بوده و به صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$MinZ = \sum_{t=1}^{n}((R_t - D_t)/D_{\max})^2 \quad (۱)$$

که در آن Z مقدار مربع انحرافات رهاسازی‌ها از نیازهای مورد نظر، R_t مقادیر رهاسازی، D_t نیاز یا تقاضا و Dmax بالاترین نیاز ماهانه در طول دوره می‌باشد. دینامیک سیستم و معادله‌های مورد استفاده در فرآیند بهینه‌سازی بر اساس قانون بقای جرم به صورت زیر نوشته می‌شوند:

$$S_{t+1} = S_t + I_t - D_t - EV_t \quad (۲)$$

که در آن $EV_t = en_t\left[a\frac{(S_t + S_{t+1})}{2} + b\right]$ و $en_t=(EP_t-P_t)$ می‌باشد.

I_t: مقدار ورودی به مخزن در شروع دوره t، D_t: میزان تقاضا در هر دوره t، EV_t: تلفات تبخیر خالص به صورت حجمی در هر دوره t، en_t:ارتفاع تبخیر خالص ماهانه ، S_t: حجم مخزن در شروع دوره t، S_{t+1}: حجم مخزن در شروع دوره t+1، EP_t: ارتفاع تبخیر از سطح مخزن در طول دوره t، P_t: ارتفاع بارندگی در سطح مخزن در طول دوره t، a و b: ضرایب ثابتی هستند که از منحنی سطح-حجم مخزن بدست می‌آیند.

همچنین در آغاز بهره برداری، حجم مخزن به صورت حجم واقعی مخزن سد تهم در پایان سال آبی ۹۴-۹۵ و تقریباً نیمه پر در نظر گرفته شده است. ($S_{t=1}$=۴۹,۶)

تحت محدودیت‌های:

الف) حداقل و حداکثر حجم ذخیره مجاز مخزن به ترتیب برابر حجم مرده مخزن معادل ۵ و حجم مخزن در حالت نرمال ۸۴ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شده است.

$$S_{\min=5} \le S(t) \le S_{\max=84} \quad (۳)$$

ب) قانون بهره‌برداری مخزن

برای تعریف قانون بهره‌برداری به ویژه در روش الگوریتم ژنتیک از ساختارهای مختلفی می‌توان استفاده کرد. رابطه خطی ساده‌ترین و کاربردی ترین نوع این قوانین است که شکل‌هایی از آن در برخی روش‌های بهینه سازی مرسوم، همچنین برنامه ریزی پویا با رگرسیون نیز استفاده شده است. قانون بهره برداری خطی مخزن در این مطالعه از رابطه (۴) پیروی می‌کند. در این قانون رابطه رگرسیونی خروجی از مخزن بر حسب مقادیر ورودی و حجم آب در مخزن در هر ماه می‌باشد.

$$R_t = a_t \times S_t + b_t \times I_t + c_t \quad (۴)$$

R_t: مقدار خروجی ازمخزن در ماه t، I_t: مقدار ورودی به مخزن در ابتدای هر ماه، S_t: مقدار ذخیره مخزن در ابتدای ماه t، a,b,c: ضرایب ثابت رگرسیون هستند.

www.SID.ir

برای حل مسائل مقید با الگوریتم ژنتیک از توابع جریمه استفاده می‌شود. با استفاده از توابع جریمه مسائل مقید به مسائل نامقید تبدیل می‌شوند. روند حل مسأله با استفاده از توابع جریمه به این صورت است که به هر جوابی که خارج از محدوده موجه باشد، جریمه تعلق می‌گیرد که این جریمه از اصلحیت جواب مورد نظر می‌کاهد و الگوریتم را مجبور می‌کند که جمعیت

نسل‌های بعدی در محدوده موجه باشند. تابع جریمه رابطه‌ای است که با توجه به میزان نقص قیدهای مسأله، مقداری را به تابع هدف اضافه یا کم می‌کند. عموماً تابع پنالتی به صورت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$F_t = f(x) + r\sum_{j=1}^{k} S_j(\phi_j)^2 \qquad (۵)$$

که در این رابطه r=+1 (چون تابع هدف از نوع مینیمم است)، Ft: مقدار اصلحیت، f(x): مقدار تابع هدف، k: مجموع تمام قید-ها، Sj: ضریب جریمه و ϕ_j: مقدار تجاوز از قید می‌باشد. در این مطالعه مقدار ضریب جریمه با سعی و خطا برابر با ۱۰۰۰۰۰۰۰۰ بدست آمده است.

تعیین افق بهره‌برداری

در روش‌های بهینه‌سازی گاهی افق بهره‌برداری به منظور کاهش ابعاد مسأله به یک دوره کوتاه محدود می‌شود. اگر مخزن دارای رفتار درون‌سالی باشد؛ تحلیل مخزن می‌تواند به سادگی و بر اساس یک دوره بحرانی ۱۲ ماهه انجام شود (Dandy et al,1997), (Loucks,2000), (Palmer and Lettenmaier,1983) . از این‌گونه روش‌ها به عنوان تلاشی برای کاهش مشکل ابعادی مربوط به مسائل بهینه‌سازی برنامه ریزی خطی در مخازن ذخیره آبدهی با گام‌های ماهیانه استفاده کرده‌اند. در مطالعات انجام شده با روش الگوریتم‌های ژنتیک بهینه سازی در یک افق بهره‌برداری محدود که اغلب ۱۲ ماه است انجام می-گیرد. یعنی سیستم درون‌سالی در نظر گرفته می‌شود. در تحقیق‌های دیگر به روش‌های مختلف منحنی فرمان مخزن را استخراج نمودند و افق بهره‌برداری را ۱۲ ماهه یعنی درون‌سالی تعیین کردند . (احمدیان فر و سالاری جزی،۱۳۸۹)، (شهبازی و همکاران،۱۳۹۰) ، (زهرایی و همکاران، ۱۳۸۵)، (خالدی و همکاران، ۱۳۹۰). در این مطالعه نیز طول افق بهره برداری ۱۲ گام زمانی ماهیانه در نظر گرفته شده است.

یافته ها

نتایج آنالیز حساسیت مدل الگوریتم ژنتیک

در اجراهای اولیه و آزمایشی الگوریتم ژنتیک، به ازای احتمال آمیزش بین ۰/۱ تا ۰/۸و احتمال جهش برابر با ۰,۰۱ تا ۰,۰۳ در یک جمعیت اولیه برابر با ۲۰۰ و در ۴۵۰ نسل، مدل اجرا گردید. نتایج بیانگر این است که GA در احتمال جهش برابر با ۰/۸ و احتمال آمیزش برابر با ۰/۰۳ بهترین عملکرد را داشته است. بنابراین مقدار بهینه احتمال جهش ۰/۸ و احتمال آمیزش برابر با ۰/۰۳ در اجرای برنامه الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار گرفت.

تحلیل مخزن و الگوی بهره برداری

در این بخش به دلیل حساسیت بالای سد تهم و تأمین بخش عمده‌ی آب شرب شهر زنجان توسط این سد، داده های مربوط به دوره آماری در سه سناریوی خوش بینانه، متوسط و بدبینانه مطابق جدول ۳ گردآوری و به عنوان ورودی به مدل معرفی شد. در جدول ۶ مقادیر رهاسازی و حجم ذخیره بدست آمده از روش الگوریتم ژنتیک و مقادیر تقاضا در دوره آماری ارائه شده است. در جدول ۷ مقادیر مربوط به متغیرهای تصمیم و پارامترهای a,b,c و نیز مقادیر تابع هدف آورده شده است. در اشکال

www.SID.ir

۲و۳و۴ نمودارهای مربوط به مقادیر رهاسازی بدست آمده از روش الگوریتم ژنتیک و تقاضا در سه سناریوی خوش بینانه، متوسط و بدبینانه نشان داده شده است.

نتایج بررسی جداول و نمودارهای ذیل،حاکی از این است که بدلیل در نظر گرفتن طول دوره بهره برداری ۱۲ ماهه (درون سالی) مدل الگوریتم ژنتیک ، صرف نظر از سه سناریوی تعریف شده با ورودی های متفاوت، نتایج کاملاً مشابهی ارائه داده است. بطوری که میزان رهاسازی در هر سه سناریو حدود ۲۳ میلیون متر مکعب برآورد شده است و به تبع آن میزان حجم ذخیره در پایان دوره ۱۲ ماهه در هر سه سناریو نیز مشابه بدست آمده است. مجموع مقادیر رهاسازی در دو سناریوی خوش بینانه و متوسط بالاتر از میزان تقاضا های تعریف شده می باشد و تنها در سناریوی بدبینانه در برخی دوره ها شکست در تأمین نیازهای پایین دست مشاهده می شود. بطور کلی مدل الگوریتم ژنتیک حجم آب تخصیصی و توانایی سد تهم در تأمین نیازهای پایین دست را در شرایط کنونی ۲۳ میلیون متر مکعب برآورد می نماید که این میزان با توجه به تخصیص کنونی سد تهم که سالیانه حدوداً ۱۸ میلیون متر مکعب می باشد، رضایتمند بوده و قابلیت افزایش دارد.

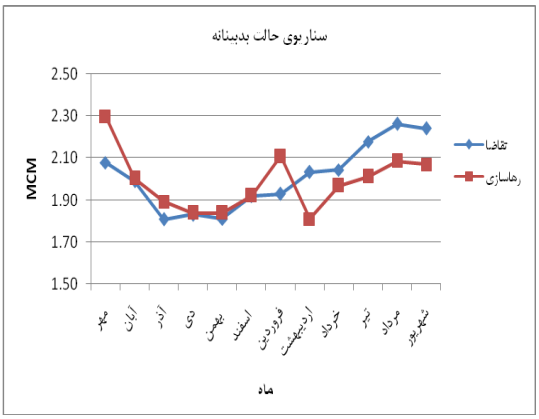
جدول ۶: مقادیر رهاسازی و حجم ذخیره بدست آمده از مدل الگوریتم ژنتیک و مقادیر تقاضا در سناریوهای مختلف

	سناریوی حالت بدبینانه			سناریوی حالت متوسط			سناریوی حالت خوش بینانه		
	تقاضا (mcm)	رهاسازی (mcm)	حجم ذخیره (mcm)	تقاضا (mcm)	رهاسازی (mcm)	حجم ذخیره (mcm)	تقاضا (mcm)	رهاسازی (mcm)	حجم ذخیره (mcm)
مهر	۲.۰۸	۲,۳	٤٥.٥٣	۰.۹۷	۲,۰۰۱	٤٥.٥٨	۰.٦۲	۲,۱۰	٤٥.٥۷
آبان	۱.۹۹	۲.۰۰	٤۳.٤٦	۰.۸٦	۲.۰۳	٤۳.٤۹	۰.٥۱	۱.۹۷	٤۳.٥٤
آذر	۱.۸۱	۱.۸۹	٤۱.٥۸	۰.۷۹	۱.۹٥	٤۱.٥٥	۰.٤۲	۱.۹٤	٤۱.٦۱
دی	۱.۸۳	۱.۸٤	۳۹.۷۷	۰.۷۹	۱.۷۹	۳۹.۷۹	۰.٤۷	۱.۷٥	۳۹.۸۹
بهمن	۱.۸۱	۱.۸٤	۳۷.۹٥	۰.۸۱	۱.۸٤	۳۷.۹۷	۰.٤۳	۱.۷۸	۳۸.۱۳
اسفند	۱.۹۲	۱.۹۲	۳٦.۷۸	۰.۸۲	۲.۰۱	۳٦.۷۰	۰.٤۰	۱.۹٥	۳٦.۹۳
فروردین	۱.۹۳	۲.۱۱	۳٦.۷۳	۰.۸۰	۱.۹۷	۳٦.۸۰	۰.٤۳	۲.۱۱	۳٦.۸۸
اردیبهشت	۲.۰۳	۱.۸۱	۳٤.۸۰	۰.۹۷	۱.۸۱	۳٤.۸٦	۰.٤۱	۱.٦۹	۳٥.۰٦
خرداد	۲.۰٥	۱.۹۷	۳۲.۷٦	۱.۰۷	۱.۹۸	۳۲.۸۱	۰.٦٦	۱.۹۸	۳۳.۰۰
تیر	۲.۱۸	۲.۰۱	۳۰.۸۹	۱.۱۳	۱.۹۷	۳۰.۹۹	۰.۷۱	۲.۰۱	۳۱.۱٤
مرداد	۲.۲٦	۲.۰۹	۲۹.۰۰	۱.۱٦	۲.۱۳	۲۹.۰٥	۰.۷٤	۲.۰۹	۲۹.۲٤
شهریور	۲.۲٤	۲.۰۷	۲٦.٦٦	۱.۲۲	۲.۱٥	۲٦.٦۳	۰.۹۹	۲.۱۱	۲٦.۸٥
جمع	۲٤.۱۳	۲۳.۸٤	–	۱۱.۳۹	۲۳.٦۳	–	٦.۷۸	۲۳.٤۹	–

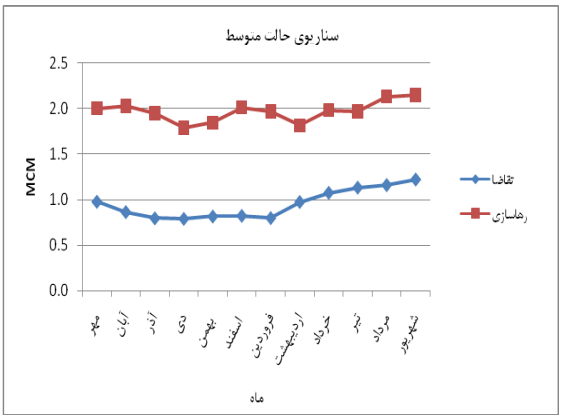
www.SID.ir

جدول ۷: مقادیر مربوط به متغیرهای تصمیم a,b,c و تابع هدف

	متغیرهای تصمیم در سناریوی حالت بدبینانه			متغیرهای تصمیم در سناریوی حالت متوسط			متغیرهای تصمیم در سناریوی حالت خوش بینانه		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
مهر	۰.۰۷۷	۰.۲۰۲	۰.۰۵۲	۰.۰۷۴	۰.۲۱۸	۰.۱۵۸	۰.۰۷۶	۰.۱۸۳	۰.۰۳۰
آبان	۰.۰۴۱	۰.۱۹۸	۰.۱۱۳	۰.۰۴۲	۰.۲۵۰	۰.۱۲۲	۰.۰۴۲	۰.۲۲۸	۰.۰۲۹
آذر	۰.۰۴۱	۰.۱۹۸	۰.۰۸۷	۰.۰۴۲	۰.۲۴۱	۰.۱۲۸	۰.۰۴۰	۰.۱۸۹	۰.۱۷۱
دی	۰.۰۴۰	۰.۲۲۰	۰.۱۸۰	۰.۰۳۹	۰.۱۵۵	۰.۱۷۴	۰.۰۴۱	۰.۲۲۵	۰.۰۴۴
بهمن	۰.۰۴۴	۰.۱۲۳	۰.۱۰۲	۰.۰۴۵	۰.۱۵۲	۰.۰۳۷	۰.۰۴۳	۰.۲۲۱	۰.۰۶۱
اسفند	۰.۰۴۴	۰.۲۳۱	۰.۰۹۱	۰.۰۴۴	۰.۲۵۹	۰.۱۴۳	۰.۰۴۵	۰.۲۶۷	۰.۰۴۰
فروردین	۰.۰۴۶	۰.۱۳۷	۰.۱۳۰	۰.۰۴۷	۰.۰۸۴	۰.۰۷۰	۰.۰۴۶	۰.۱۵۲	۰.۱۰۰
اردیبهشت	۰.۰۴۴	۰.۰۷۵	۰.۱۶۹	۰.۰۴۵	۰.۰۷۰	۰.۱۳۵	۰.۰۴۳	۰.۱۲۸	۰.۰۸۶
خرداد	۰.۰۵۴	۰.۱۵۴	۰.۰۴۵	۰.۰۵۵	۰.۱۸۳	۰.۰۰۰	۰.۰۵۳	۰.۱۸۰	۰.۰۴۹
تیر	۰.۰۵۶	۰.۰۹۰	۰.۱۰۷	۰.۰۵۶	۰.۱۲۰	۰.۰۶۸	۰.۰۵۵	۰.۱۷۳	۰.۰۷۵
مرداد	۰.۰۶۱	۰.۱۷۰	۰.۰۷۱	۰.۰۶۱	۰.۱۳۸	۰.۱۵۱	۰.۰۶۰	۰.۱۸۰	۰.۰۸۹
شهریور	۰.۰۶۹	۰.۱۴۸	۰.۰۵۸	۰.۰۷۱	۰.۰۷۰	۰.۰۷۸	۰.۰۶۸	۰.۰۷۶	۰.۱۰۴
تابع هدف	۱۴,۲۸			۱۲,۳۶			۱۹,۷۸		

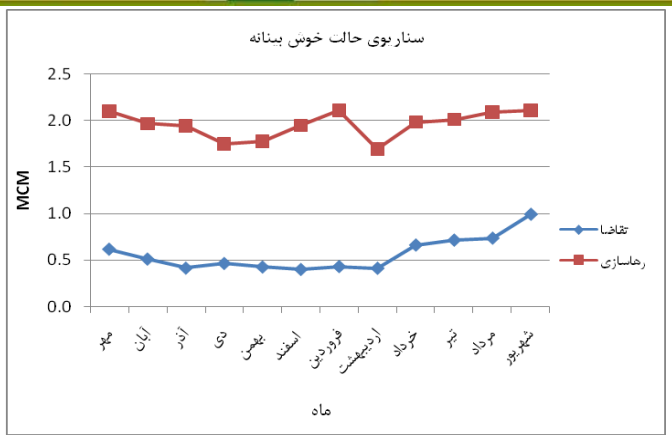


شکل ۲: منحنی مقادیر رهاسازی و تقاضا در حالت بدبینانه



شکل ۳: منحنی مقادیر رهاسازی و تقاضا در حالت متوسط

www.SID.ir



شکل ۴: منحنی مقادیر رهاسازی و تقاضا در حالت خوش بینانه

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به موارد اشاره شده در قسمت قبل و نیز نتایج بدست آمده از مدل الگوریتم ژنتیک، موارد زیر نتیجه گیری می شود.

۱- مجموع میزان رهاسازی در هر سه سناریو کاملاً مشابه و حدود ۲۳ میلیون متر مکعب برآورد شده است.

۲- در دو سناریوی حالت متوسط و خوش بینانه هیچگونه شکستی در تأمین نیاز مشاهده نگردیده و تنها در سناریوی بدبینانه شکست های جزئی مشاهده می شود.

۳- حجم آب ذخیره شده در هر سه سناریوی معرفی شده به مدل الگوریتم ژنتیک، کاملاً مشابه می باشد.

پیشنهادات

۱- با توجه به اینکه سیستم مخزن سد تهم به صورت درونسالی در نظرگرفته شده است (طول دوره بهره برداری ۱۲ ماهه) لذا تأمین نیازها و حجم ذخیره پیش بینی شده توسط مدل الگوریتم ژنتیک، امکان برنامه ریزی دراز مدت را نمی دهد. بنابراین پیشنهاد می شود طول دوره بهره برداری برونسالی (۲ ساله یا ۳ ساله) در نظر گرفته شود تا چشم انداز وسیع تری از قابلیت تأمین نیازهای پایین دست در سد مذکور فراهم گردد.

۲- پیشنهاد می‌شود منحنی فرمان سد با روش‌های دیگر از جمله الگوریتم‌های PSO و الگوریتم‌های آنیلینگ و دیگر روش‌های نوین بهینه سازی ارائه شده و با مقایسه این روش‌ها به بهترین الگوی بهره‌برداری رسید.

منابع

احمدیان‌فر، الف؛ سالاری جزی، م. (۱۳۸۹)، " ارائه منحنی فرمان جهت تأمین نیازهای کشاورزی با استفاده از بهینه‌سازی حجم مخزن سد بالارود بر اساس روش الگوریتم ژنتیک"، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشکده شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.

بیگلی، ز؛ منتصری، م؛ یاسی، م؛ دادمهر، ر؛ (۱۳۹۲)، " ارائه منحنی فرمان در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبیه سازی" پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی منابع آب، دانشگاه ارومیه.

www.SID.ir

تقیان، م؛ رادمنش، ف؛ آخوندعلی، ع .م و حقیقی، ع ۱۳۹۰ ." بهینه سازی منحنی فرمان بهره برداری از سیستم های چند مخزنی با توسعه یک مدل هیبریدی برنامه ریزی خطی -الگوریتم ژنتیک." مجله پژوهش آب ایران (۹):۹۰-۸۳

حبیبی داویجانی، م؛ بنی حبیب، م الف و هاشمی، س ر. ۱۳۹۱، ارزیابی مدلهای بهینه سازی الگوریتم هوش جمعی PSO و الگوریتم ژنتیک Gaدرمدیریت تخصیص منابع آب، کنفرانس بین المللی مدل سازی غیر خطی و بهینه سازی، آمل، دانشگاه شمال، http://www.civilica.com/Paper-ICNMO01-ICNMO01_273.html

خالدی، ر؛ قادری، ج؛ عبقری، ه. (۱۳۹۰)، "مدیریت بهینه‌سازی سالانه سد به روش الگوریتم ژنتیک"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

خادمی، م؛ عمادی، ر. (۱۳۸۹)، "تهیه منحنی فرمان بهره برداری از سد مخزنی درودزن با استفاده از مدل آبدهی، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.

خلف، ر؛ شکراللهی، الف. (۱۳۸۷)، " تهیه منحنی فرمان با تکنیک شبیه‌سازی در سد مخزنی بالارود"، دومین کنفرانس ملی نیروگاه‌های آبی کشور.

زهرایی، ب؛ حسینی، س م؛ نجفی، مر. (۱۳۸۵)،" مدل الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی سیستم تک مخزنی چند منظوره زاینده رود"، اولین همایش بهره‌برداری بهینه از منافع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهرکرد.

شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس،امور ژئوماتیک.گزارش هیدروگرافی سد تهم.۱۳۸۸

شهبازی، ع؛ آخوندعلی، ع م؛ موسوی، س م. (۱۳۹۰)، "بهینه سازی منحنی فرمان بهره برداری از سیستم منابع آب تک مخزنه (مطالعه موردی سد مخزنی ابوالفارس)" ،اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقابی.

گرشاسبی، س: ۱۳۸۶،" ارائه برنامه بهینه بهره‌برداری از سیستم مخازن چندگانه با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک"، پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه.

ممتحن، ش؛ و، برهانی؛ داریان، ع. (۱۳۸۴)." کاربرد مقایسه‌ای الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم‌های چند مخزنی ".مجله آب و فاضلاب، ۵۶، ۲۰-۱۱.

Dandy,G.C.,Connarty.M.C,and Loucks,D.P.(1997)." Comparisons of methods of yield assement of multiple reservoir system." J.Water Resour. Plan.Managt.,ASCE,123(6).350-357.

Dariane A.B. and Momtahen Sh. 2009. Optimization of Multi-reservoir Systems Operation Using Modified Direct Search Genetic Algorithm. Water Resources Planning and Management 135(3):141–148.

Gen,M.,and Cheng.R. (1997). "Genetic Algorithms and Engineering Design." John Witley and Sons, Inc. New York.

Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y., Melville, B.W. 2011. Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. Srochastic Evironmental Research and Risk Assessment, 25(4): 475-484.

Labadie, J. W,(2004). "Optimal operation of multi- reservoir system: State of the art review." J. Water Resour. Plng and Mgmt., ASCE,130(2),93-111.

Loucks,D.P.(2000). "Sustainable water resources management. " Water Int., 25(1), 3-10.

Palmer,R. N.,and Lettenmaier,D..(1983)."The use of screening models in determining water supply reliability" Clv Eng Syet.,1,15-22

www.SID.ir