Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال یازدهم، شماره ۲، پائیز ۱۳۹۴
Volume 11, No. 2, Fall 2015 (IR-WRR)
۲۹-۴۶

ارزیابی عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان در حل مسأله بهره برداری بهینه از سیستم چند مخزنه: مقایسه چهار الگوریتم

رامتین معینی [۱*]

چکیده

بهره‌برداری بهینه از سیستم چند مخزنه از جمله مسایل مهم در علوم مهندسی آب است که حل آن به سادگی امکان پذیر نمی‌باشد. لذا، با توجه به قابلیت‌های الگوریتم‌های فراکاوشی، امروزه استفاده از این الگوریتم‌ها به منظور حل مسأله مذکور مورد توجه کارشناسان مهندسی آب قرار گرفته است. یکی از انواع الگوریتم‌های فراکاوشی، الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان است که بر مبنای شبیه‌سازی رفتار جستجوی غذا در جامعه مورچگان ارائه شده است. در این تحقیق قابلیتهای چهار الگوریتم مختلف بهینه‌سازی جامعه مورچگان به نامهای الگوریتم سیستم مورچه، الگوریتم سیستم مورچه برتر، الگوریتم سیستم مورچه ترتیبی و الگوریتم سیستم مورچه بیشینه-کمینه در حل مسائل مرجع چهار و ده مخزنه مورد بررسی قرار گرفته است. برای هر یک از الگوریتم‌ها دو فرمولبندی ارائه شده که در فرمول‌بندی اول مقدار آب رهاسازی شده از مخزن و در فرمول‌بندی دوم ذخیره مخزن به عنوان متغیر تصمیم مسأله منظور شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان، الگوریتمی مناسب در حل مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم چند مخزنه است. همچنین، نسبت به سایر الگوریتم‌های مورد مطالعه، نتایج بدست آمده از الگوریتم سیستم مورچه بیشینه – کمینه مطلوب‌تر است.

کلمات کلیدی: سیستم سد چند مخزنه، بهره برداری بهینه، الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچگان

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۵/۲۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۰/۶

۱- استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، خیابان هزارجریب، اصفهان، ایران
*- نویسنده مسئول

Performance Evaluation of the Ant Colony Optimization Algorithm for the Optimal Operation of a Multi-Reservoir System: Comparing Four Algorithms

R. Moeini [1*]

Abstract

Optimal operation of multi-reservoir systems is amongst the important problems in the field of water engineering which cannot be easily solved. Nowadays, water engineering experts are using Meta-heuristic algorithms to solve this problem due to the computational capabilities of these algorithms. Ant Colony Optimization algorithm is one of the algorithms which is based on foraging behavior of real ants. In this research, the capability of four different ant colony optimization algorithms, Ant System, Elitist Ant System, Ranked Ant system, and Max-Min Ant System has been tested to solve the four- and ten-reservoir benchmark systems. For each algorithm two different formulations are proposed; in the first formulation reservoir releases and in the second formulation reservoir storages are considered as decision variables of the problem. The results showed that the Ant Colony Optimization algorithm is a competent algorithm to solve Multi-reservoir system operation optimization problem. The Max-Min Ant System is also assessed as superior to other algorithms for such problems.

Keywords: Multi-reservoir system, Optimal operation, Ant Colony Optimization algorithm.

Received: August 13, 2014
Accepted: December 27, 2014

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Isfahan, E-mail: r.moeini@eng.ui.ac.ir
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

امروز با توجه به رشد روزافزون نیاز به منابع آب، تنها با تکیه بر منابع آب متغیر، رودخانه‌ها و سفره‌های زیرزمینی، نمی‌توان بدرستی برنامه‌ریزی نمود. لذا احداث سدها به منظور رسیدن به اهداف مورد نظر امری اجتناب‌ناپذیر است. به دلیل نیازهای آبی متفاوت در مناطق مختلف، گاهی چندین سد متوالی به صورت سری و یا شبکه‌ای از سدها به صورت سری و موازی بر روی رودخانه‌ها و سرشاخه‌های آنها احداث می‌گردد که برنامه‌ریزی بهره‌برداری از آنها به منظور رسیدن به تمامی اهداف موردنظر به سادگی امکان‌پذیر نیست. لذا در طول سه دهه اخیر مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های چند مخزنه در بین محققین مدیریت منابع آب از توجه زیادی برخوردار بوده است.

اصولاً چهار دسته روش کلی برای حل مسائل بهینه‌سازی از جمله مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های چند مخزنه ارائه شده است. این چهار دسته روش عبارتند از برنامه‌ریزی خطی[۱] (LP)، برنامه‌ریزی غیرخطی[۲] (NLP)، برنامه‌ریزی پویا[۳] (DP) و الگوریتم‌های فراکاوشی[۴] که از جمله آنها می‌توان الگوریتم ژنتیک[۵] (GA)، الگوریتم جفت گیری زنبورعسل[۶] (HBMO) و الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان[۷] (ACO) را نام برد. شایان ذکر است هر یک از این دسته روش‌ها معایب و محدودیت‌های خاص خود را دارا می‌باشد؛ ولیکن امروزه با توجه به قابلیت‌های الگوریتم‌های فراکاوشی، استفاده از این الگوریتم‌ها در حل مسایل بهینه‌سازی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است.

از روش‌های برنامه‌ریزی خطی به منظور حل مدل‌های خطی استفاده می‌شود ولیکن اکثر مسائل واقعی مهندسی از جمله مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های چند مخزنه، مسائل غیر خطی هستند که حل آنها با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی مستلزم خطی‌سازی مسأله بوده و لذا باعث ایجاد خطا در فرآیند حل می‌شود. استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی غیر خطی در حل مسائل مستلزم پیوسته، مشتق پذیر بودن و محدب تابع هدف و قیود مسأله می‌باشد. همچنین تعیین مشتقات مرتبه اول و دوم تابع هدف و قیود باعث افزایش زمان و هزینه محاسباتی حل مسائل با استفاده از روش‌های برنامه ریزی ریاضی غیر خطی می‌گردد. حل مسائل بزرگ مقیاس، از جمله مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های چند مخزنه، با استفاده از روش برنامه ریزی پویا براحتی امکانپذیر نمی‌باشد، به گونه‌ای که در حل مسائل بزرگ مقیاس با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا با مشکل نفرین ابعادی[۸] مواجه می‌شویم. لذا، امروزه الگوریتم‌های فراکاوشی به منظور غلبه بر ضعف‌های متعارف روش‌های برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی ارائه شده است. استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی دستیابی به جواب بهینه مطلق را تضمین نمی‌کند ولیکن در خلال فرآیند حل مسأله، جواب‌های شدنی مختلفی ساخته شده و در نهایت بهترین جواب را به عنوان جواب مناسب انتخاب می‌نمایند. فلسفه پیدایش روش‌هایی که توانایی رسیدن به جواب‌هایی نزدیک به جواب بهینه دارند را می‌توان در این حقیقت دانست که برای برخی از مسأیل بهینه‌سازی تصمیم‌گیری با رسیدن به یک جواب مناسب و نه لزوما بهینه مطلق صورت گرفته و هدف مورد نظر ارضا می‌شود. شایان ذکر است که هریک از الگوریتم‌های فراکاوشی قابلیت‌ها و ضعف‌های خاص خود را دارا می‌باشد که هر یک از آنها برای حل برخی از مسائل کارایی بهتر و مناسبتری دارند و در حالت کلی یک الگوریتم خاص برای حل تمامی مسائل بهینه سازی وجود ندارد. با توجه به موارد مذکور، هدف اصلی مقاله حاضر، ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی یکی از انواع الگوریتم‌های فراکاوشی به نام الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان در حل یکی از مسائل مهم حوزه مهندسی آب (مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های چند مخزنه) می‌باشد.

با بررسی تحقیقات انجام شده در این حوزه Labadie (2004) آخرین کارهای صورت گرفته در زمینه بهره‌برداری سیستم‌های چند مخزنه با استفاده از الگوریتم‌های کاوشی و ریاضی بررسی نمود. Mohan and Rapure (1992) از روش برنامه‌ریزی خطی در حل مسأله بهره‌برداری بهینه از یک سیستم پنج مخزنه در حوضه آبریز رودخانه چالیار هندوستان استفاده نمودند. ستاری و همکاران (۱۳۸۲) به منظور بهره‌برداری بهینه از سیستم نه مخزنه رودخانه کلامرز واقع در حوضه میانه استان آذربایجان شرقی از روش برنامه‌ریزی خطی با قیود شانسی استفاده نمودند. Peng and Buras (2000) و Cai et al. (2002) از روش برنامه‌ریزی غیر خطی در حل مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم چند مخزنه استفاده نمودند. Teegavarapu and Simonovic (2000) از روش برنامه‌ریزی غیرخطی اعداد صحیح[۹] برای حل مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم چهار مخزنه رودخانه وینیپگ کانادا استفاده نمودند. Ponnambalam and Adams (1996) روشی ابتکاری را برای حل مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های چند مخزنه ارائه نمودند. در این روش از یک سیستم ترکیبی تجمع/تجزیه[۱۰] (A/D) استفاده گردید که در آن نوعی خاص از کاوش برای ساخت مدل مناسب تقریبی از مدل اصلی برنامه‌ریزی پویا، مورد استفاده قرار گرفته است. Oliveira and Loucks (1997)، Fahmy et al. (1994)،

www.SID.ir

Archive of SID

Wardlaw and Sharif (1999)، Esat and Hall (1994) و Chen and Chang (2007) از الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله بهره برداری بهینه از سیستم‌های چند مخزنه استفاده نمودند. موسوی و کارآموز (۲۰۰۳) با تشخیص ترکیبات غیر ممکن، روشی برای پیشرفت محاسباتی برنامه‌ریزی پویا ارائه نموده‌اند و از این روش در بهره‌برداری بهینه از سیستم چند مخزنه استفاده نمودند. جلالی (۱۳۸۴) و جلالی و افشار (۲۰۰۵) دو روش سیستم جامعه مورچگان استاندارد و پیشرفته را برای حل مسأله بهره‌برداری سیستم‌های چند مخزنه ارائه نمودند و مسایل مرجع سیستم چهار و ده مخزنه را با به‌کارگیری این روشها حل نمودند. جلالی و همکاران (۲۰۰۷) الگوریتم چند جامعه‌ای مورچگان را ارائه نموده و از آن برای حل مسایل مرجع سیستم چهار و ده مخزنه استفاده نمودند. شایان ذکر است که آنها از یکی از انواع مختلف الگوریتم‌های بهینه‌سازی جامعه مورچگان به نام الگوریتم سیستم جامعه مورچگان[11] (ACS) به منظور حل این مسائل استفاده نمودند. Kumar and Reddy (2007) از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات[12] (PSO) در حل مسایل مرجع سیستم چهار مخزنه گسسته استفاده نمودند. بزرگ حداد و همکاران (۲۰۰۸) از الگوریتم جفت گیری زنبور عسل حل مسأله بهره‌بهرداری بهینه از سیستم چند مخزنه برقابی استفاده نمودند. معینی و افشار (۲۰۱۱) فرمول‌بندی جدیدی برای الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچگان ارائه نموده و از ان برای حل مسأله بهره‌بهرداری بهینه از سیستم چند مخزنه برقابی استفاده نمودند. معینی و افشار (۲۰۱۳)، با معرفی دو فرمول‌بندی الگوریتم مقید جامعه مورچگان، از آنها برای حل مسایل مرجع سیستم چهار مخزنه گسسته و ده مخزنه استفاده نمودند.

در این تحقیق، با توجه به قابلیت‌های الگوریتم‌های فراکاوشی در حل مسایل پیچیده مهندسی، از چهار الگوریتم سیستم مورچه، سیستم مورچه برتر، سیستم مورچه ترتیبی و سیستم مورچه بیشینه- کمینه در حل مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم چند مخزنه استفاده می‌شود. علاوه بر این برای هر یک از الگوریتم‌ها دو فرمول‌بندی ارائه می‌شود که در فرمول‌بندی اول مقدار آب رها سازی شده از مخزن و در فرمول‌بندی دوم ذخیره مخزن به عنوان متغیر تصمیم مسأله منظور می‌گردد. یکی از مهم‌ترین ضعف‌های الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان، همگرائی نابهنگام و نابجای الگوریتم به یک جواب بهینه محلی است. لذا در طول سالیان اخیر محققین، الگوریتم‌های مختلفی را بر مبنای اصول پایه الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان برای غلبه بر این محدودیت ارائه نمودند که مقایسه عملکرد هریک از الگوریتم‌های پیشنهادی و شناسایی قابلیت‌های آنها در حل مسایل پیچیده علوم مهندسی از جمله مسأله بهره برداری بهینه از سیستم چند مخزنه مورد توجه می‌باشد. لذا در این تحقیق مسایل مرجع چهار و ده مخزنه با استفاده از هر دو فرمول‌بندی الگوریتم‌های پیشنهادی حل شده و نتایج به‌دست آمده از آنها با یکدیگر مقایسه شده است.

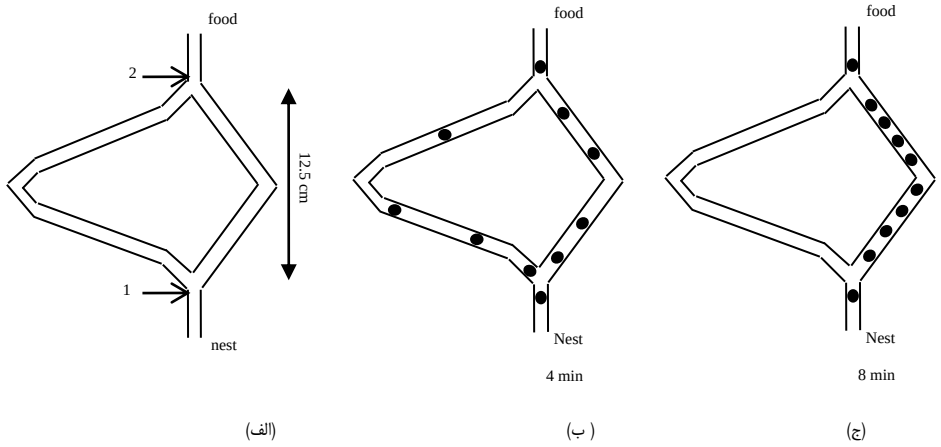
۲- الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان

حشرات و به ویژه مورچه‌ها یکی از گونه‌های موفقی بوده‌اند که از ۱۰۰ میلیون سال قبل تا به امروز بر روی کره زمین زندگی می‌کنند. بنابراین، الهام گرفتن از رفتار جامعه مورچه‌ها برای کنترل کردن سیستم‌ها و حل مسایل مختلف تعجب برانگیز نمی‌باشد. مورچه‌ها به صورت اجتماعی زندگی می‌کنند که این گروههای بزرگ اجتماعی مورچه‌ها کلنی[13] نامیده می‌شوند. جوامع اجتماعی حشرات قادر به حل بهینه مسایل مختلفی می‌باشند که هر یک از افراد جامعه به تنهایی قادر به انجام این کار نمی‌باشند. از جمله این موارد می‌توان به مواردی نظیر یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و منبع غذا، ساختن پل در مسیرهای عبوری، تقسیم کار و تخصیص وظایف در گروه، همکاری در حمل مواد حجیم و نیز کوچ کردن از یک محل به محل دیگر اشاره نمود. یکی از مهمترین خصوصیات رفتاری جامعه مورچه‌ها، یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و منبع غذا است که بر این اساس الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان توسط Colorni et al. (1991) پیشنهاد گردید. شایان ذکر است که اصولا مورچه‌ها کور هستند ولیکن با استفاده از حس بویایی خود مسیریابی می‌کنند. با عبور مورچه از هر مسیر ماده شیمیایی به نام فرامان[14] از خود بر جای می‌گذارند که غلظت فرامان بیشتر موجود در مسیر کوتاه‌تر، مورچه‌ها را به انتخاب این مسیر ترغیب می‌کند و لذا کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و منبع غذا توسط مورچه‌ها انتخاب می‌شود.

جهت فهم بهتر سازوکار فرایند یافتن کوتاه‌ترین فاصله بین لانه[15] (نقطه ۱) تا منبع غذایی[16] (نقطه ۲) توسط جامعه مورچه، آزمایش‌های متعددی انجام شده است. به عنوان نمونه Goss et al. (1989) آزمایشی را انجام دادند که در آن دو مسیر با طول متفاوت برای حرکت مورچه‌ها در نظر گرفته شد و طول مسیر بلندتر دو برابر طول مسیر کوتاه‌تر بود (شکل۱-(الف)). در ابتدای آزمایش، به دلیل اینکه شرایط هر دو مسیر یکسان بود، مورچه‌ها به طور تصادفی یکی از این مسیرها را انتخاب می‌کردند (شکل۲-(ب))، وضعیت حرکت مورچه‌ها در مسیرها بعد از چهار دقیقه). در ادامه، اگر چه انتظار بر این بود که به طور متوسط نیمی از مورچه‌ها از مسیر بلندتر و نیمی دیگر از مسیر کوتاه‌تر بروند، اما آزمایش چیزی بر

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- آزمایش پل مزدوج (Goss et al., 1989)

خلاف انتظار از خود نشان داد. بعد از مدتی مشاهده شد که به دلیل زمان کمتر عبور مورچه‌ها از مسیر کوتاه‌تر، غلظت فرامان این مسیر افزایش یافته و تعداد مورچه‌های عبوری از این مسیر نیز افزایش یافت. به این ترتیب پس از مدت زمان کوتاهی کلیه مورچه‌ها مسیر کوتاه‌تر را جهت عبور انتخاب نمودند (شکل ۲-(ج))، وضعیت حرکت مورچه‌ها در مسیرها بعد از هشت دقیقه).

اولین و ساده‌ترین الگوریتمی که بر اساس رفتار جامعه مورچه‌ها تعریف شده، الگوریتم سیستم مورچه[۱۷] (AS) بود (Colorni et al., 1991). سپس، به دلیل محدودیت‌هایی این الگوریتم، الگوریتم مذکور بسط و گسترش داده شد و الگوریتم‌های جدیدی بر مبنای اصول این الگوریتم پایه پیشنهاد شد که از جمله آنها می‌توان به الگوریتم سیستم جامعه مورچگان (Dorigo and Gambardella, 1997)، الگوریتم سیستم مورچه برتر[۱۸] (AS_{elite}) (Dorigo et al., 1996)، الگوریتم سیستم مورچه ترتیبی[۱۹] (AS_{rank}) (Bullnheimer et al., 1999) و الگوریتم سیستم مورچه بیشینه ـ کمینه[۲۰] (MMAS) (Stutzle and Hoss, 2000) اشاره نمود.

شایان ذکر است که رفتار جستجوی الگوریتم‌های فراکاوشی و از جمله الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان را می‌توان با استفاده از دو مفهوم اکتشاف[۲۱] و استخراج[۲۲] توصیف نمود. اکتشاف توانایی الگوریتم در جستجوی گسترده و وسیع فضای مسأله و استخراج توانایی الگوریتم در جستجوی موضعی در فضای همسایگی جواب یافت شده قبلی است. افزایش استخراج ممکن است باعث همگرایی سریع مسأله به یک جواب غیر بهینه و یا بهینه موضعی شود درحالیکه افزایش اکتشافات باعث کند شدن همگرایی و افزایش هزینه محاسباتی در پیدا کردن جواب‌های مناسب می‌شود. بنابراین لازم است که توازن مناسبی بین اکتشافات و استخراج برقرار نمود که هر یک از الگوریتم‌های پیشنهادی بهینه‌سازی جامعه مورچگان به منظور برقراری این توازن مناسب پیشنهاد شده است. در ادامه، مراحل مختلف حل مسأله با استفاده از انواع الگوریتم‌های پیشنهادی بهینه‌سازی جامعه مورچگان بیان می‌شود.

به کار بردن الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان برای حل مسایل بهینه‌سازی، نیازمند تعریف گراف برای آن مسأله می‌باشد. در ابتدا گراف G=(D,L,C) برای مسأله تعریف می‌شود که در آن $D=\{d_1,d_2,.....,d_n\}$ مجموعه نقاط تصمیم؛ $L=\{L_{ij}\}$ مجموعه انتخاب j $(j=1,2,....,J)$ در هر یک از نقاط تصمیم i $(i=1, 2... n)$ که مشخص کننده مسیرهای گراف هستند و $C=\{c_{ij}\}$ مجموعه هزینه‌های هر یک از انتخاب‌های L میباشند. یک مسیر موجه[۲۳] تعریف شده برای گراف را یک جواب (φ) و مسیری که کمترین هزینه را داشته باشد یک جواب بهینه (φ^*) می‌نامند. هزینه هر جواب را با $f(\varphi)$ و هزینه جواب بهینه را با $f(\varphi^*)$ نشان می دهند. (افشار و معینی، ۲۰۰۸)

با تعریف گراف، مراحل حل مسأله با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان را می‌توان به شکل زیر بیان نمود (Dorigo et al., 1999):

۱. یک جامعه از مورچه‌ها، m، در نظر گرفته شود.

۲. یک مقدار فرامان مناسب، به عنوان نمونه مقدار واحد، و هدایت‌گر کاوشی مناسب برای مسیرهای گراف تعریف شود.

www.SID.ir

Archive of SID

شایان ذکر است که در حل برخی از مسائل با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان، امکان تعریف پارامتری به‌نام هدایت‌گر کاوشی وجود دارد. هدایت‌گر کاوشی همانند یک چشم مصنوعی مورچه‌ها را در انتخاب مسیر مناسب کمک می کند به گونه‌ای که مقادیر بزرگتر هدایت‌گر کاوشی مسیرها سبب افزایش احتمال انتخاب یک مسیر مشخص می‌گردد. مقادیر هدایت‌گر کاوشی مسیرها به نوع مسأله، گراف و تابع هدف مسأله بستگی دارد و لذا تعریف مناسب این مقادیر برای حل تمامی مسائل امکان پذیر نمی‌باشد. در صورتی‌که تعریف مناسب هدایت‌گر کاوشی مسیرها امکان‌پذیر نباشد مقدار واحد به‌عنوان هدایت‌گر کاوشی مسیرها منظور می‌شود.

۳. با مستقر شدن یکی از مورچه‌ها، k، بر روی یکی از n نقطه تصمیم مسأله، مورچه شروع به حرکت می‌کند و جواب بتدریج ساخته می‌شود. برای انتخاب گزینه تصمیم j در نقطه تصمیم i توسط مورچه k، یک تابع احتمال تعریف می‌شود که بر اساس آن تابع احتمال، گزینه تصمیم مربوطه انتخاب می‌شود. به عبارت دیگر مورچه k که در نقطه تصمیم i واقع شده است گزینه تصمیم j را بر اساس رابطه زیر انتخاب می‌نماید.

$$P_{ij}(k,t)=\frac{\left[\tau_{ij}(t)\right]^{\alpha}\left[\eta_{ij}\right]^{\beta}}{\sum_{j=1}^{J}\left[\tau_{ij}(t)\right]^{\alpha}\left[\eta_{ij}\right]^{\beta}} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، $p_{ij}(k,t)$ =احتمال اینکه مورچه k ام در دوره t ام و نقطه تصمیم iام گزینه تصمیم j را انتخاب کند؛ η_{ij} = مقادیر هدایت‌گر کاوشی گزینه تصمیم j در نقطه تصمیم i و $\tau_{ij}(t)$ = غلظت فرامان گزینه تصمیم j در نقطه تصمیم i و تکرار tام و α,β = مقادیر ضرایب وزن فرامان و هدایت‌گرکاوشی می‌باشند. شایان ذکر است که تابع احتمال تعریف شده در تمامی انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی جامعه مورچگان به جز الگوریتم سیستم جامعه مورچگان یکسان و مطابق رابطه (۱) است.

۴. مرحله سوم تا عبور مورچه از تمامی نقاط تصمیم ادامه می‌یابد. موقعی که کلیه نقاط تصمیم پوشش داده شود، جواب (φ) ساخته شده است. بر اساس تابع هدف تعریف شده، هزینه جواب تولید شده $(f(\varphi))$ محاسبه شده است.

۵. مراحل سوم و چهارم برای تمامی مورچه‌ها، m، تکرار می‌گردد. با اعمال فرآیند برای تمامی مورچه‌ها، یک تکرار کامل شده و تکرار بعد آغاز می‌گردد.

۶. بعد از انجام مراحل سوم تا پنجم و قبل از شروع تکرار جدید، فرامان مسیرها اصلاح می‌شود. هدف از بهنگام‌سازی و اصلاح فرامان، تمرکز بیشتر فرآیند جستجوی مورچه‌ها بر یک منطقه مناسب از فضای جستجو است که امید آن می رود با متمرکزتر کردن جستجو در آن منطقه، جواب‌های مطلوب‌تری حاصل شود. مبحث بهنگام‌سازی فرامان بخشی از الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان است که بیشترین مطالعه بر روی آن صورت گرفته و روش‌های مختلف بهنگام‌سازی فرامان تاکنون پیشنهاد شده است. به صورت خلاصه می‌توان گفت بهنگام‌سازی فرامان باعث تقویت بخشی از فضای جستجو می‌شود که به نظر می‌رسد که این بخش مناسب‌تر بوده و در این صورت جستجو در سایر بخش‌های فضای جستجو تضعیف می‌گردد. شکل کلی رابطه بهنگام‌سازی به صورت زیر است:

$$\tau_{ij}(t+1)=\mathrm{T}(\rho,\tau_{ij}(t),\Delta\tau_{ij}) \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، ρ ضریب تبخیر فرامان $(0\le\rho\le1)$ و $\tau_{ij}(t+1)$ = غلظت فرامان گزینه تصمیم j در نقطه تصمیم i و تکرار $t+1$ام بوده که تابع ضریب تبخیر فرامان، مقدار تغییر فرامان ($\Delta\tau_{ij}$) و غلظت فرامان گزینه تصمیم j در نقطه تصمیم i و تکرار tام ($\tau_{ij}(t)$) است. راهکار اصلی و اولیه برای این فرآیند، ابتدا تبخیر فرامان است که باعث کاهش میزان فرامان با یک شدت نسبی تعریف شده در هر تکرار می‌گردد. سپس فرامان مسیرهای مطلوب بر اساس مقدار $\Delta\tau_{ij}$ تقویت می شود. شایان ذکر است که رابطه بهنگام‌سازی فرامان در انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی جامعه مورچگان به شکل زیر تعریف می‌شود.

الگوریتم سیستم مورچه:

$$\mathrm{T}=\rho\tau_{ij}(t)+\Delta\tau_{ij}(t) \qquad (۳)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t)=\sum_{k=1}^{m}\frac{\phi}{f(S_k(t))}I_{S_k(t)}\{(i,j)\} \qquad (۴)$$

در رابطه فوق، $\Delta\tau_{ij}(t)$ = تغییر فرامان گزینه تصمیم j در نقطه تصمیم i و تکرار tام؛ m = تعداد مورچه‌های جامعه در هر تکرار؛ ϕ = کمیتی که به مقدار فرامان بستگی دارد و به آن فاکتور ارزش فرامان می‌گویند؛ $S_k(t)$ = جواب بدست آمده توسط مورچه kام در تکرار tام و $f(S_k(t))$ =هزینه جواب به‌دست آمده توسط مورچه kام در تکرار t ام (مقدار تابع هدف به ازای جواب بدست آمده) است. همچنین؛

$$I_{S_k(t)}\{(i,j)\}=\begin{cases}1 & \text{اگر در نقطه تصمیم i گزینه تصمیم j توسط مورچه k ام انتخاب شود}\\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases} \qquad (۵)$$

الگوریتم سیستم مورچه برتر:

$$\mathrm{T}=\rho\tau_{ij}(t)+\Delta\tau_{ij}(t)+\sigma\Delta\tau_{ij}^{gb}(t) \qquad (۶)$$

در رابطه فوق، $\Delta\tau_{ij}(t)$ = تغییر فرامان گزینه تصمیم j در نقطه تصمیم i و تکرار tام (براساس رابطه ۴ محاسبه می شود)؛ σ =

www.SID.ir

Archive of SID

تعداد مورچه برتر و $\sigma\Delta\tau_{ij}^{gb}(t)$ = تغییر فرامان گزینه‌های تصمیم انتخابی توسط σ مورچه برتر است (گزینه‌های تصمیم بهترین جواب بهینه موضعی تکرار t).

الگوریتم سیستم مورچه ترتیبی:

در این الگوریتم رابطه بهنگام سازی فرامان مطابق رابطه الگوریتم سیستم مورچگان برتر (رابطه ۶) و با جایگزینی $\Delta\tau_{ij}^{rank}(t)$ با $\Delta\tau_{ij}(t)$ است که $\Delta\tau_{ij}^{rank}(t)$ مجموع تجمعی تغییر فرامان $\sigma-1$ مورچه رتبه‌بندی شده برتر است. $\Delta\tau_{ij}^{rank}(t)$ به شکل زیر تعریف می‌شود:

(۷)

$$\Delta\tau_{ij}^{rank}(t)=\sum_{k=1}^{\sigma-1}(\sigma-k)\frac{\phi}{f(S_k(t))}I_{S_k(t)}\{(i,j)\}$$

در رابطه فوق، $S_k(t)$ = جواب بدست آمده توسط مورچه kام از مجموعه $\sigma-1$ مورچه رتبه‌بندی شده در تکرار tام بوده و سایر پارامترها پیش از این تعریف شده است.

الگوریتم سیستم مورچه بیشینه-کمینه:

$$\mathrm{T}=\rho\tau_{ij}(t)+\Delta\tau_{ij}^{ib}(t) \qquad (۸)$$

که در آن $\Delta\tau_{ij}^{ib}(t)$ مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta\tau_{ij}^{ib}(t)=\frac{\phi}{f(S_l(t))}I_{S_l(t)}\{(i,j)\} \qquad (۹)$$

در رابطه فوق، $S_l(t)$ = بهترین جواب تکرار tام؛ $f(S_l(t))$ = هزینه بهترین جواب تکرار tام و سایر پارامترها پیش از این تعریف شده است.

۷. مراحل سوم تا ششم تا زمان دستیابی به حداکثر تکرار انتخابی و یا سایر معیارهای توقف ادامه می‌یابد.

به منظور جلوگیری از همگرایی سریع و نابهنگام الگوریتم، در الگوریتم سیستم مورچگان بیشینه-کمینه سازوکارهای موثر دیگری نیز منظور شده است. سازوکار اضافی الگوریتم مذکور بدین صورت است که در الگوریتم سیستم مورچگان بیشینه- کمینه یک مرز دینامیکی برای شدت فرامان مسیرها تعریف می‌شود. مرز پایین دست را با $\tau_{\min}(t)$ و مرز بالا دست را با $\tau_{\max}(t)$ نمایش می‌دهند و در هر لحظه شدت فرامان تمام مسیرها بین این دو مقدار است.

$$\tau_{\min}(t)\le\tau_{ij}(t)\le\tau_{\max}(t) \qquad (۱۰)$$

در نتیجه اعمال این فرآیند احتمال انتخاب هیچ مسیری صفر نمی‌شود و در نتیجه مفهوم اکتشاف در فضای جستجوی مسأله گسترش می‌یابد. مرزهای بالای و پایینی فرامان را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود:

$$\tau_{\max}(t)=\frac{1}{1-\rho}\frac{\varphi}{f(S_l(t))} \qquad (۱۱)$$

$$\tau_{\min}(t)=\frac{\tau_{\max}(t)(1-\sqrt[n]{P_{best}})}{(NO_{avg}-1)\sqrt[n]{P_{best}}} \qquad (۱۲)$$

در روابط فوق، $\tau_{\min}(t)$ = مرز پایینی فرامان در تکرار t؛ $\tau_{\max}(t)$ = مرز بالایی فرامان درتکرار t؛ φ = ضریب جبران فرامان (معمولاً $\varphi=1$)؛ p_{best} = احتمال اینکه بهترین جواب بهینه موضعی دوباره تکرار شود؛ NO_{avg} = میانگین تعداد گزینه‌های تصمیم موجود در هر نقطه تصمیم مسأله بوده و سایر پارامترها پیش از این تعریف شده است. دلایل و توجیهات نظری روابط تعریف شده برای محدوده‌های فرامان مسیرها، در مقاله Stutzle and Hoss (2000) ارائه شده است. همان‌گونه که رابطه فوق نشان می‌دهد، مقادیر کمتر p_{best} باعث محدود شدن محدوده فرامان تعریف شده، می‌شود.

۳- مسأله بهره‌برداری از سیستم چند مخزنه

مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم چند مخزنه یکی از مسایل مهم در زمینه مهندسی مدیریت منابع آب می‌باشد. یکی از سازه‌هایی که به منظور دستیابی به اهداف گوناگونی چون تأمین نیازهای آبی، کنترل و کاهش خسارت‌های سیلاب و تولید انرژی برقابی ساخته می شود، سدها می‌باشند. شایان ذکر است که اکثرا طراحی سیستم سدها به صورت سیستم چند مخزنه با سدهای سری و موازی است که با افزایش تعداد آنها پیچیدگی‌های مسأله افزایش می‌یابد. لذا مسأله بهره‌برداری بهینه از یک سیستم چند مخزنه یکی از اهداف مهندسین منابع آب است که حل آن نیازمند به تهیه یک مدل بهینه‌سازی برای مسأله است. به منظور مدل‌سازی مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم چند مخزنه بایستی تابع هدف و قیود مسأله تعریف شوند. در این تحقیق مسائل پیوسته مرجع چهار و ده مخزنه بعنوان مسائل نمونه، منظور شده است و لذا، در ابتدا چگونگی مدل‌سازی این مسائل ارائه می‌شود.

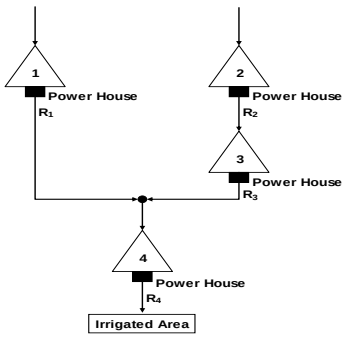
۳-۱- سیستم چهار مخزنه

در ابتدا، مسأله پیوسته مرجع بهره برداری بهینه از یک سیستم چهار مخزنه مورد بررسی قرار می‌گیرد که ابتدا توسط Chow and Cortes (1974) معرفی شد. سیستم مورد نظر از چهار مخزن سری و موازی مطابق شکل ۲ تشکیل شده است. آب رهاسازی شده از کلیه مخازن جهت تولید انرژی استفاده شده و تنها

www.SID.ir

Archive of SID

خروجی مخزن چهار، پس از نیروگاه کاربرد آبیاری نیز خواهد داشت. میزان سود حاصل از تولید انرژی و آبیاری توسط روابط خطی تعریف شده‌اند. هدف از این مسأله بهره‌برداری سیستم جهت حداکثرسازی سود حاصل در ۱۲ دوره ۲ ساعته (یک شبانه روز) می‌باشد.



شکل ۲ - مسأله بهره برداری از سیستم چهار مخزنه (جلالی، ۱۳۸۴)

تابع هدف اصلی تعریف شده برای مسأله به شکل رابطه زیر می‌باشد:

$$MAX \quad F = \sum_{nd=1}^{ND} \sum_{t=1}^{12} b_{(nd)}(t) \times re_{(nd)}(t) \qquad (۱۳)$$

در رابطه فوق، $b_{(nd)}(t) =$ مقادیر ضریب فایده سد nd ام در دوره زمانی t ام می‌باشند که توسط چاو و کورتس تعریف شده‌اند؛ $re_{(nd)}(t) =$ آب رها سازی شده از مخزن سد nd ام در دوره زمانی t ام و $ND =$ تعداد کل سدها می‌باشند که برای این مسأله برابر چهار است ($ND = 4$).

همچنین قیود این مسأله به شکل زیر تعریف گردیده‌اند:

$$st_{(nd)}(t+1) = st_{(nd)}(t) + In_{(nd)}(t) - re_{(nd)}(t) \qquad (۱۴)$$
$$\forall nd = 1,..., ND \;\&\; t = 1,...,12$$

$$re_{(nd)}^{\min} \le re_{(nd)}(t) \le re_{(nd)}^{\max} \qquad (۱۵)$$
$$\forall nd = 1,..., ND \;\&\; t = 1,...,12$$

$$st_{(nd)}^{\min} \le st_{(nd)}(t) \le st_{(nd)}^{\max} \qquad (۱۶)$$
$$\forall nd = 1,..., ND \;\&\; t = 1,...,12$$

$$st_{(nd)}(13) = st_{(nd)}(1) \qquad (۱۷)$$
$$\forall nd = 1,..., ND$$

در رابطه فوق، $st_{(nd)}(t) =$ ذخیره مخزن سد ndام در ابتدای دوره زمانی t ام؛ $In_{(nd)}(t) =$ میزان جریان ورودی به مخزن سد ndام در دوره زمانی t ام که برابر با مجموع جریان ورودی موضعی و میزان آب رها سازی شده از سدهای بالادست سد nd ام در هر دوره زمانی می باشد؛ $re_{(nd)}(t) =$ میزان آب رهاسازی از مخزن سد nd ام در دوره زمانی t ام؛ $st_{(nd)}^{\min} =$ حداقل ذخیره مجاز مخزن سد nd ام ؛ $st_{(nd)}^{\max} =$ حداکثر ذخیره مجاز مخزن سد nd ام؛ $re_{(nd)}^{\min} =$ حداقل میزان آب رهاسازی شده از مخزن سد nd ام و $re_{(nd)}^{\max} =$ حداکثر میزان آب رهاسازی از مخزن سد ndام است. مقادیر منظور شده برای پارامترهای مسأله در رابطه ۱۸ و جدول ۱ نشان داده شده و سایر مقادیر در مقاله Chow and Cortes (1974) ارایه شده است.

$$st_1^{\min} = st_2^{\min} = st_3^{\min} = st_4^{\min} = 1$$
$$re_1^{\min} = re_2^{\min} = re_3^{\min} = re_4^{\min} = 0.005 \qquad (۱۸)$$
$$re_1^{\max} = 4 \quad re_2^{\max} = re_3^{\max} = 4.5 \quad re_4^{\max} = 8$$

۳-۲- سیستم ده مخزنه

در ادامه، مسأله پیوسته مرجع بهره‌برداری بهینه از یک سیستم ده مخزنه مورد بررسی قرار می‌گیرد که توسط Murray and Yakowitz (1979) معرفی و با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویای گسسته[۲۴] (DDP) حل شد. سیستم مورد نظر از ده مخزن سری و موازی مطابق شکل ۳ تشکیل شده است. هدف از این مسأله بهره‌برداری سیستم جهت حداکثرسازی سود حاصل در یک شبانه روز می‌باشد. تابع هدف و محدودیت‌های این مسأله نیز مطابق روابط ارائه شده برای مسأله مرجع چهار مخزنه است (روابط ۱۳ تا ۱۷) با این تفاوت که تعداد سدها ۱۰ می‌باشد ($ND = 10$). مقادیر منظور شده برای پارامترهای مسأله در رابطه ۱۹ و جدول ۲ نشان داده شده است و سایر مقادیر در مقاله Murray and Yakowitz (1979) ارائه شده است .

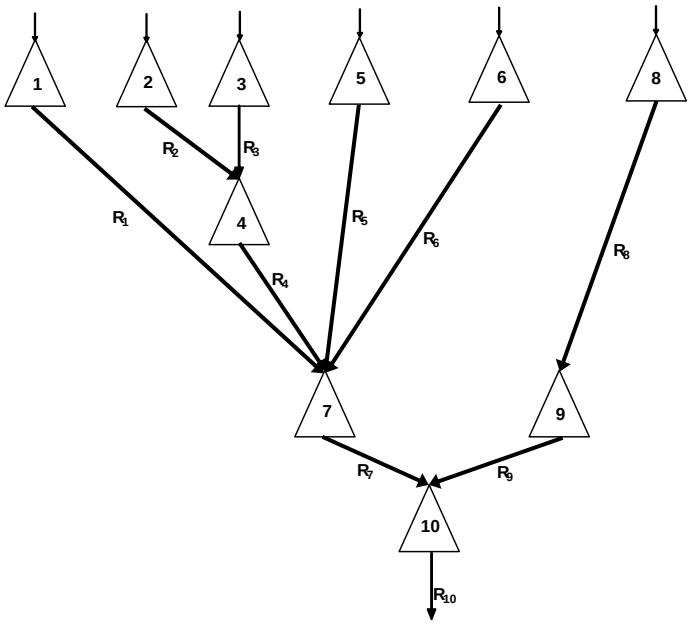
$$st_1^{\min} = st_2^{\min} = st_4^{\min} = st_5^{\min} = st_6^{\min} = st_7^{\min} = st_8^{\min} = st_{10}^{\min} = 1 \quad st_3^{\min} = 0.3 \quad st_9^{\min} = 0.5$$
$$re_1^{\min} = re_2^{\min} = re_3^{\min} = re_4^{\min} = 0.005 \quad re_5^{\min} = re_6^{\min} = 0.006 \quad re_7^{\min} = re_{10}^{\min} = 0.01$$
$$re_8^{\min} = re_9^{\min} = 0.008 \quad re_1^{\max} = 4 \quad re_2^{\max} = 4.5 \quad re_3^{\max} = 2.12 \quad re_4^{\max} = 7 \quad re_5^{\max} = 6.43 \qquad (۱۹)$$
$$re_6^{\max} = 4.21 \quad re_7^{\max} = 17.1 \quad re_8^{\max} = 3.1 \quad re_9^{\max} = 4.2 \quad re_{10}^{\max} = 18.9$$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مقادیر پارامترهای مسأله بهره برداری از سیستم چهار مخزنه

مقادیر پارامترها	سد	دوره زمانی											
		۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
حداکثر ذخیره مخزن	۱	۱۲	۱۲	۱۲	۱۰	۱۰	۹	۸	۸	۹	۱۰	۱۲	۶
	۲	۱۵	۱۸	۱۸	۱۸	۱۷	۱۵	۱۲	۱۲	۱۲	۱۵	۱۵	۶
	۳	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۶
	۴	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۸
ضرایب فایده سد	۱	۱.۴	۱.۸	۲.۲	۱.۸	۲	۲.۲	۲.۵	۱.۸	۱.۲	۱	۱	۱.۱
	۲	۱.۸	۲.۲	۱.۸	۲	۲.۲	۲.۵	۱.۸	۱.۲	۱	۱	۱.۱	۱.۴
	۳	۱.۱	۱.۴	۱.۸	۲.۲	۱.۸	۲	۲.۲	۲.۵	۱.۸	۱.۲	۱	۱
	۴	۲.۵	۲.۷	۳.۱	۳.۶	۴.۱	۳.۸	۴	۴.۲	۴.۴	۳.۶	۲.۹	۲.۶
جریان ورودی موضعی به سد	۱	۱	۱.۷۵	۰.۷۵	۱.۲۵	۱.۲۵	۲	۲.۵	۳.۵	۳	۲	۱	۰.۵
	۲	۰.۷	۱	۱.۲	۱.۳	۲.۵	۳	۳.۵	۴	۲	۲	۰.۷	۰.۴
	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰



شکل ۳- مسأله بهره برداری از سیستم ده مخزنه (جلالی، ۱۳۸۴)

۴- تجزیه و تحلیل نتایج

در این تحقیق مسائل پیوسته مرجع چهار و ده مخزنه به‌عنوان مسأله نمونه، با استفاده از چهار الگوریتم سیستم مورچه، سیستم مورچه برتر، سیستم مورچه ترتیبی و سیستم مورچه بیشینه- کمینه حل شده و نتایج مقایسه می‌شود. در اولین گام به منظور حل مسأله با استفاده از الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچگان لازم است که برای مسأله یک گراف تعریف شود. به منظور تعریف گراف مسأله بایستی متغیر تصمیم، نقاط تصمیم و گزینه‌های تصمیم تعریف شوند. در مسایل بهره‌برداری از مخزن، می توان میزان آب رهاسازی شده از مخزن و یا ذخیره مخزن سد را بعنوان متغیر تصمیم مسأله منظور نمود؛ که در این تحقیق، با ارائه دو فرمول‌بندی متفاوت، در هر فرمول‌بندی یکی از آنها به‌عنوان متغیر تصمیم مسأله منظور شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مسأله بهره برداری از سیستم ده مخزنه

مقادیر پارامترها	سد	دوره زمانی											
		۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
حداکثر ذخیره مخزن	۱	۱۲	۱۲	۱۰	۱۰	۹	۸	۸	۹	۱۰	۱۲	۱۲	۶
	۲	۱۸	۱۸	۱۸	۱۷	۱۵	۱۲	۱۲	۱۵	۱۵	۱۵	۱۷	۶
	۳	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۳
	۴	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۸
	۵	۱۸.۳	۱۷.۲	۱۶.۱	۱۵.۳	۱۴.۲	۱۴.۱	۱۵.۲	۱۶.۱	۱۷.۱	۱۸.۱	۱۹.۱	۸
	۶	۱۴	۱۲.۹	۱۱.۸	۱۰.۷	۹.۶	۸.۵	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۷
	۷	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۱۵
	۸	۱۳.۱۸	۱۲.۹۶	۱۱.۵۸	۱۰.۲	۹.۶	۹	۹.۶	۱۰.۲	۱۱.۳۷	۱۲.۲۳	۱۳.۱۶	۶
	۹	۸	۷.۴	۷	۶.۷	۶.۴	۶.۱	۶.۲	۶.۴	۶.۸	۷.۳	۷.۹	۵
	۱۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۱۵
ضرایب فایده سد	۱	۱.۴	۱.۸	۲.۲	۱.۸	۲	۲.۲	۲.۵	۱.۸	۱.۲	۱	۱	۱.۱
	۲	۱.۸	۲.۲	۱.۸	۲	۲.۲	۲.۵	۱.۸	۱.۲	۱	۱	۱.۱	۱.۴
	۳	۱.۱	۱.۴	۱.۸	۲.۲	۱.۸	۲	۲.۲	۲.۵	۱.۸	۱.۲	۱	۱
	۴	۱.۴	۱.۸	۲.۲	۱.۸	۲	۲.۲	۲.۵	۱.۸	۱.۲	۱	۱	۱.۱
	۵	۱.۱۴	۱.۲۵	۱.۳۴	۱.۴۵	۱.۵۶	۱.۶۷	۱.۵	۱.۴	۱.۳	۱.۲	۱.۱	۱
	۶	۱.۸	۲.۲	۱.۸	۲	۲.۲	۲.۵	۱.۸	۱.۲	۱	۱	۱.۱	۱.۴
	۷	۲.۵	۲.۷	۳.۱	۳.۶	۴.۱	۳.۸	۴	۴.۲	۴.۴	۳.۶	۲.۹	۲.۷
	۸	۱.۱۴	۱.۲۵	۱.۳۴	۱.۴۵	۱.۵۶	۱.۶۷	۱.۵	۱.۴	۱.۳	۱.۲	۱.۱	۱
	۹	۱.۱	۱.۴	۱.۸	۲.۲	۱.۸	۲	۲.۲	۲.۵	۱.۸	۱.۲	۱	۱
	۱۰	۲.۱	۳.۵	۲.۸	۳.۷	۳.۶	۴	۳.۹	۲.۹	۳.۲	۲.۸	۳	۲.۷
جریان ورودی موضعی به سد	۱	۱	۱.۷۵	۰.۷۵	۱.۲۵	۱.۲۵	۲	۲.۵	۳.۵	۳	۲	۱	۰.۵
	۲	۰.۷	۱	۱.۲	۱.۳	۲.۵	۳	۳.۵	۴	۲	۲	۰.۷	۰.۴
	۳	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸
	۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۵	۱.۵	۲	۲.۵	۲.۵	۳	۳.۵	۳.۵	۳	۲.۵	۲.۵	۲	۱.۵
	۶	۰.۴۶	۰.۸	۱.۹۱	۱.۶۳	۲.۲۴	۴.۸۱	۴.۳۲	۲.۳۱	۲.۱۶	۱.۵۳	۰.۸۱	۰.۳۲
	۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۸	۰.۸۱	۰.۹۳	۱.۲	۱.۴۵	۱.۸۷	۲.۸	۲.۵	۱.۶۷	۱.۲۵	۱	۰.۸۳	۰.۷۱
	۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

لذا در فرمول‌بندی اول پیشنهادی (*I*) مقدار آب رها سازی شده از مخزن و در فرمول‌بندی دوم پیشنهادی (*II*) ذخیره مخزن به عنوان متغیر تصمیم مسأله در نظر گرفته می‌شود. به منظور تعریف گراف در مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم چند مخزنه می‌بایست مخازن شماره‌گذاری شوند. برای شماره گذاری از مخازن بالا دست شروع کرده و به ترتیب، به هریک از مخازن یک شماره نسبت می‌دهیم.

این شماره‌گذاری می‌تواند از سمت راست و یا چپ و براساس ارتباط بین مخازن صورت گیرد. پس از آن بر اساس تعداد دوره‌های زمانی منظور شده برای کل سیستم، نقاط تصمیم مشخص می‌گردند. سپس، به ترتیب شماره‌گذاری مخازن، کلیه دوره‌های زمانی آن مخزن، به عنوان نقاط تصمیم منظور می‌گردد و این کار تا زمانی که کلیه مخازن پوشش داده شود، صورت می‌گیرد. به‌عبارت دیگر، براساس شماره‌گذاری مخازن، از دوره زمانی اول هر مخزن شروع شده و پس از اینکه کل دوره‌های زمانی آن مخزن پوشش داده شود؛ مخزن بعدی انتخاب می‌شود. شایان ذکر است که در صورتی‌که تعداد مخازن nd و تعداد دوره‌های زمانی np باشند؛ در حالت کلی تعداد کل نقاط تصمیم (n) برابر $nd\times(np+1)$ و در صورتیکه ذخیره اولیه مخازن ($st(1)$) معلوم باشد، تعداد کل نقاط تصمیم (n) برابر $nd\times np$ می‌باشد. گزینه‌های تصمیم نیز با گسسته‌سازی متغیرهای تصمیم و براساس گسسته‌سازی محدوده مجاز متغیرهای تصمیم در هـــر یک از فـرمـول‌بندهای پیشنهادی

www.SID.ir

Archive of SID

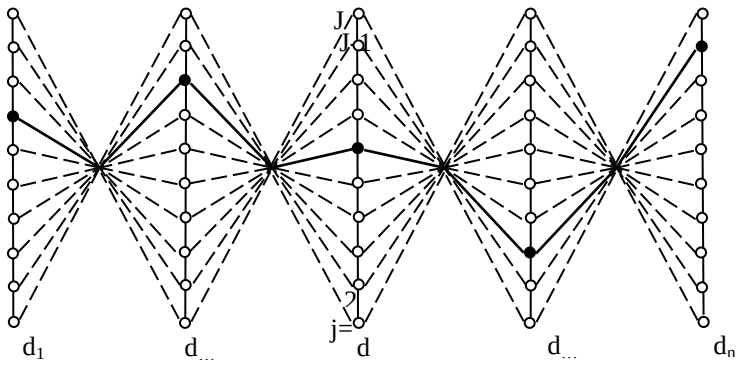
(I و II) یعنی گسسته‌سازی مقادیر آب رهاسازی شده از مخزن و یا ذخیره مخزن در هریک از این نقاط تصمیم تعیین می‌شوند. شکل ۴ نشان دهنده گراف شماتیک مسأله است که در آن خطوط عمودی نقاط تصمیم، دایره‌های توخالی کوچک گزینه‌های موجود در نقاط تصمیم، دایره‌های توپر کوچک گزینه‌های انتخاب شده توسط مورچه فرضی در نقاط تصمیم، خط چین‌های مایل مسیرهای حرکت مورچه (جواب‌های مسأله) و خطوط پررنگ مایل مسیر حرکت (جواب ساخته شده برای مسأله) توسط یک مورچه فرضی است.

شایان ذکر است که به منظور حل این مسائل با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی، در محیط نرم‌افزار فرترن[۲۵] کد نویسی انجام شده است. همچنین برای ارضای قیود مسأله از روش جریمه‌دهی با ضرایب ثابت استفاده شد. بدین منظور تابع هدف مسأله به شکل زیر بازنویسی می‌شود:

$$F_p = F - \alpha_p \times \sum_{g=1}^{G} CSV_g \qquad (۲۰)$$

که در رابطه فوق، F_p = تابع هدف جریمه دار شده؛ F =تابع هدف اصلی؛ α_p =مقدار ضریب جریمه ثابت؛ G = قیود مسأله و $\sum_{g=1}^{G} CSV_g$ = مجموع تخلف از قیود مسأله است. در صورتی که هر یک از قیود مسأله تخلفی نداشته باشند مقدار آن در رابطه فوق صفر منظور می‌شود ($CSV_g = 0$). شایان ذکر است که مقدار ضریب جریمه مناسب برای هر مسأله با سعی و خطا به دست می‌آید. ولیکن این ضریب نباید بسیار بزرگ و یا بسیار کوچک باشد و مقدار آن بایستی در حدود مقدار حقیقی تابع هدف باشد. در حل مسایل نمونه ماکزیمم مقدار تابع هدف این مسائل به عنوان مقدار ضریب جریمه ثابت منظور می‌شود.

با توجه به گراف تعریف شده، مسأله مرجع چهار مخزنه با استفاده از هر دو فرمول‌بندی (I و II) الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی و بر اساس مقادیر جدول ۳ حل شده است. شایان ذکر است که مقادیر جدول ۳ با آنالیز حساسیت هر یک از پارامترهای الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی در نظر گرفته شده است. همچنین، در هر دو فرمول‌بندی مسأله (I و II) تعداد گسسته‌سازی متغیر تصمیم مسأله ۱۰ بوده و لذا میانگین تعداد گزینه‌های تصمیم موجود در هر نقطه تصمیم (NO_{avg}) برابر ۱۰ می‌باشد. همچنین در حل این مسائل مقدار فاکتور ارزش فرامان (ϕ) برابر واحد منظور شده است.



شکل ۴- گراف مسأله **بهره‌برداری بهینه از سیستم چند مخزنه**

جدول ۳- مقادیر پارامترهای هر دو فرمول‌بندی الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی در حل مسأله چهار مخزنه

الگوریتم	تعداد مورچه	تعداد تکرار	تعداد مورچه برتر (σ)	p_{best}	ρ	β	α
سیستم مورچه	۳۰۰	۳۰۰۰	---	---	۰.۸۵	۰	۱
سیستم مورچه برتر	۳۰۰	۳۰۰۰	۲۰	---	۰.۸۵	۰	۱
سیستم مورچه ترتیبی	۳۰۰	۳۰۰۰	۲۰	---	۰.۸۵	۰	۱
سیستم مورچه بیشینه- کمینه	۳۰۰	۳۰۰۰	---	۰.۱۵	۰.۸۵	۰	۱

www.SID.ir

Archive of SID

مسأله مرجع چهار مخزنه با استفاده از هر دو فرمول‌بندی الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی حل شده و نتایج آن بررسی و تحلیل می شود. جدول ۴ مقادیر حداکثر، حداقل و متوسط مقدار تابع هدف، انحراف معیار نرمال سازی شده و تعداد اجراهای با جواب شدنی در ۱۰ بار اجرای برنامه برای الگوریتم‌های پیشنهادی را نشان می‌دهد. نتایج نشان دهنده آن است که با استفاده از هر دو فرمول‌بندی الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی جوابی مناسب برای مسأله حاصل شده است ولیکن نتایج حاصل از الگوریتم سیستم مورچه بیشینه- کمینه مطلوبتر است که مقدار جواب بهینه آن به ترتیب با بکارگیری فرمول‌بندی I و II برابر با ۳۰۷/۵۸۲ و ۲۹۷/۷۸۰ می‌باشد. دلیل آن این است که در الگوریتم سیستم مورچه بیشینه- کمینه با تعریف مرزهای دینامیکی برای شدت فرمان مسیرها از همگرایی سریع و نابهنگام الگوریتم جلوگیری شده است و لذا جواب‌های حاصل شده، مطلوبتر است. علاوه بر این جواب‌های حاصل از فرمول‌بندی I از جواب‌های حاصل از فرمول‌بندی II مطلوبتر است و یا به عبارت دیگر با استفاده از فرمول‌بندی II حداکثر مقدار تابع هدف در مقایسه با فرمول‌بندی II ۳/۱۹ درصد کاهش می‌یابد. علت آن هم به این دلیل می باشد که طول بازه گسسته‌سازی شده متغیر تصمیم در فرمولبندی II از طول بازه گسسته‌سازی شده متغیر تصمیم در فرمول‌بندی I بیشتر است. همچنین تعداد اجراهای با جواب شدنی در فرمول‌بندی I تمامی الگوریتم‌های پیشنهادی در مقایسه با فرمول‌بندی II الگوریتم‌های متناظر بیشتر است. به عبارت دیگر در تمامی ۱۰ اجرای فرمول‌بندی I تمامی الگوریتم‌های پیشنهادی جواب شدنی حاصل شده است ولیکن در فرمول‌بندی II به ترتیب ۶، ۸، ۹ و ۹ اجرای شدنی با استفاده از الگوریتم‌های سیستم مورچه، سیستم مورچه برتر، سیستم مورچه ترتیبی و سیستم مورچه بیشینه-کمینه حاصل شده است.

شایان ذکر است که جوابهای مرغوب برای این مسأله پس از به‌کارگیری الگوریتم سیستم مورچه‌های بیشینه - کمینه به ترتیب توسط فرمول‌بندی I الگوریتم‌های سیستم مورچه ترتیبی، سیستم مورچه برتر و سیستم مورچه و با مقادیر ۳۰۷/۵۸۲ ، ۳۰۷/۴۸۱ و ۲۷۸/۱۹۹ حاصل شده است و یا به عبارت دیگر با استفاده از فرمول‌بندی I الگوریتم‌های سیستم مورچه ترتیبی، سیستم مورچه برتر و سیستم مورچه در مقایسه با استفاده از فرمول‌بندی I الگوریتم سیستم مورچه‌های بیشینه-کمینه حداکثر مقدار تابع هدف به ترتیب صفر ، ۰/۰۳ و ۹/۵۵ درصد کاهش می‌یابد. شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب مقادیر بهینه آب رها سازی شده از مخازن و ذخیره مخازن با استفاده از فرمول‌بندی‌های I و II الگوریتم سیستم مورچه‌های بیشینه-کمینه در حل مسأله چهار مخزنه را نشان می‌دهد.

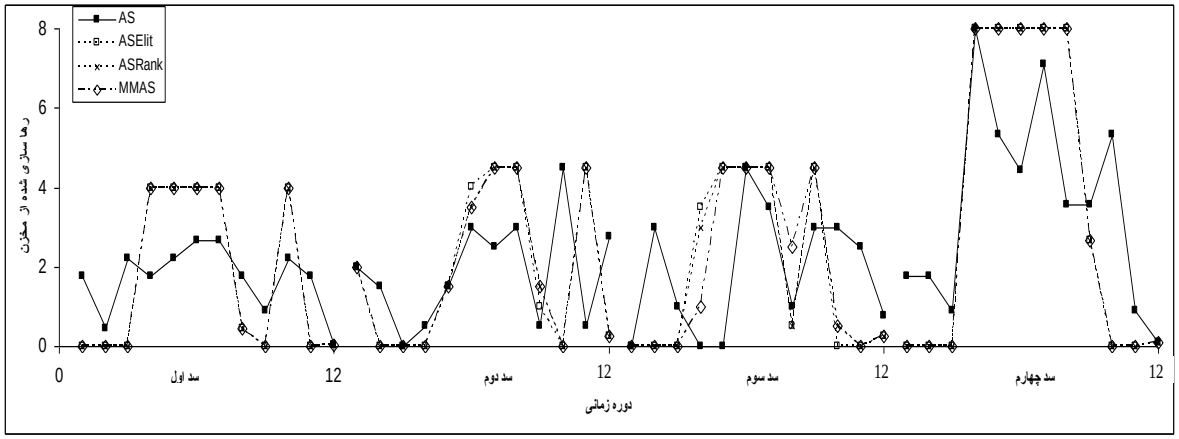
این مسأله با استفاده از نرم‌افزار لینگو[۲۶] ، مدل شده و جواب بهینه مطلق حاصل برابر با ۳۰۸/۲۹۲ می‌باشد (جلالی، ۱۳۸۴). این مسأله یک مسأله با ماهیت پیوسته می‌باشد در حالی‌که الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان یک الگوریتم با ماهیت گسسته می‌باشد و بنابراین، به منظور داشتن یک دید و بینش اولیه نسبت به جوابهای واقعی مسأله ، این مسأله با استفاده از نرم‌افزار لینگو مدل شده است. مقایسه نتایج حل مسأله با استفاده از الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی با نتایج حل مسأله با استفاده از نرم افزار لینگو نشان دهنده آن است که با استفاده از فرمول‌بندی I الگوریتم سیستم مورچه بیشینه- کمینه، حداکثر مقدار تابع هدف بدست آمده به مقادیر بهینه مطلق بدست آمده از نرم‌افزار لینگو نزدیکتر است و یا به عبارت دیگر با استفاده از فرمول‌بندی I الگوریتم سیستم مورچه‌های بیشینه-کمینه در مقایسه با جواب بدست آمده از نرم‌افزار لینگو حداکثر مقدار تابع هدف ۰/۲۳ درصدکاهش می‌یابد.

جدول ۴ - مقادیر مقادیر میانگین، حداکثر و حداقل تابع هدف برای ۱۰ بار اجرای برنامه با استفاده از هر دو فرمولبندی الگوریتم‌های پیشنهادی برای حل مسأله چهار مخزنه

الگوریتم	فرمول بندی	مقادیر تابع هدف			انحراف معیار نرمال سازی شده	تعداد اجرای شدنی
		حداکثر	حداقل	متوسط		
سیستم مورچه	I	۲۷۸.۱۹۹	۲۶۹.۲۰۴	۲۷۲.۸۹۲	۰.۰۰۹۹	۱۰
	II	۲۷۲.۹۹۱	۲۶۵.۶۹	۲۶۹.۶۳۵	۰.۰۲۱۶	۶
سیستم مورچه برتر	I	۳۰۷.۴۸۱	۳۰۶.۴۹۴	۳۰۷.۱۴۷	۰.۰۰۱۲	۱۰
	II	۲۹۴.۹۵۷	۲۸۰.۶۹۱	۲۹۰.۱۱۱	۰.۰۱۹۶	۸
سیستم مورچه ترتیبی	I	۳۰۷.۵۸۲	۳۰۶.۸۰۴	۳۰۷.۲۷۱	۰.۰۰۰۸	۱۰
	II	۲۹۵.۹۰۲	۲۸۵.۱۳۵	۲۹۱.۱۳۷	۰.۰۱۵۸	۹
سیستم مورچه بیشینه - کمینه	I	۳۰۷.۵۸۲	۳۰۷.۱۰۴	۳۰۷.۴۳۳	۰.۰۰۰۵	۱۰
	II	۲۹۷.۷۸۰	۲۹۱.۴۲۴	۲۹۳.۶۹۱	۰.۰۰۶۱	۹

www.SID.ir

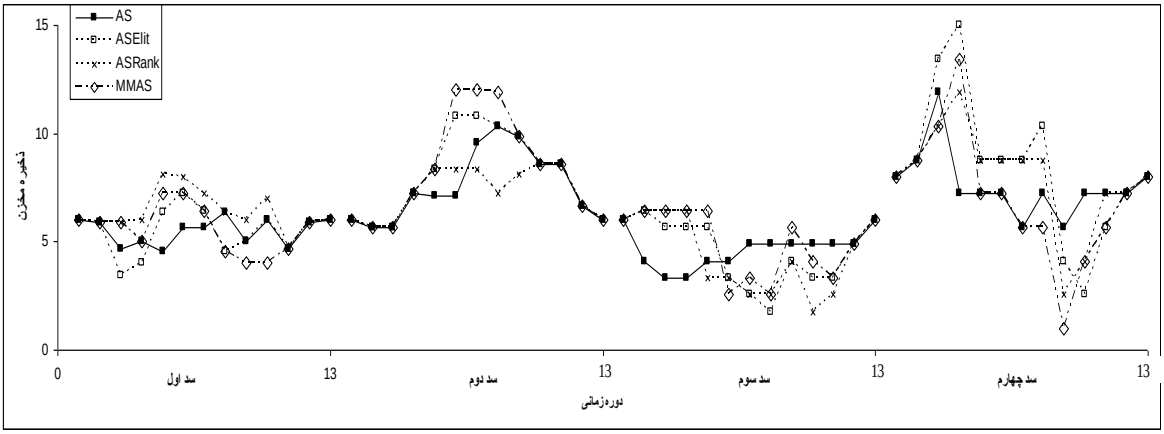
Archive of SID



شکل ۵- مقدار بهینه آب رها سازی شده از مخازن با استفاده از فرمول‌بندی *I* الگوریتم سیستم مورچه بیشینه-کمینه در مسأله چهار مخزنه

مسأله مرجع ده مخزنه با استفاده از هر دو فرمول‌بندی الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی و بر اساس مقادیر جدول ۵ حل شده است. شایان ذکر است که مقادیر جدول ۵ با آنالیز حساسیت هر یک از پارامترهای الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که در هر دو فرمول‌بندی مسأله (*I* و*II*) تعداد گسسته‌سازی متغیر تصمیم مسأله ۱۰ می‌باشد.

مسأله مرجع ده مخزنه نیز با استفاده از هر دو فرمول‌بندی الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی حل شده و نتایج آن بررسی و تحلیل می شود. جدول ۶ مقادیر حداکثر، حداقل و متوسط مقدار تابع هدف، انحراف معیار نرمال سازی شده و تعداد اجراهای با جواب شدنی در ۱۰ بار اجرای برنامه برای الگوریتم‌های پیشنهادی را نشان می‌دهد. نتایج نشان دهنده آن است که با استفاده از هر دو فرمول‌بندی الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی جوابی تقریبا مناسب برای مسأله حاصل شده است ولیکن نتایج حاصل از الگوریتم سیستم مورچه بیشینه- کمینه مطلوبتر است که به دلیل آن پیش از این اشاره شده است. شایان ذکر است که مقدار جواب بهینه مسأله به ترتیب با به‌کارگیری فرمول‌بندی *I* و *II* و الگوریتم سیستم مورچه بیشینه- کمینه برابر با ۱۱۹۰/۲۹۳ و ۱۱۴۱/۶۷۶ می‌باشد. علاوه بر این در این مسأله نیز جواب‌های حاصل از فرمول‌بندی *I* از جواب‌های حاصل از فرمول‌بندی *II* مطلوبتر است و یا به عبارت دیگر با استفاده از فرمول‌بندی *II* حداکثر مقدار تابع هدف در مقایسه با فرمول‌بندی *I* ۴/۰۸ درصد کاهش می‌یابد. همچنین، در تمامی ۱۰ اجرای فرمول‌بندی *I* تمامی الگوریتم‌های پیشنهادی، جواب شدنی برای مسأله حاصل شده است ولیکن در فرمول‌بندی *II* به ترتیب ۵، ۵، ۶ و ۶ اجرای شدنی با استفاده از الگوریتم‌های سیستم مورچه، سیستم مورچه برتر، سیستم



شکل ۶- مقدار بهینه ذخیره مخازن با استفاده از فرمول‌بندی *II* الگوریتم سیستم مورچه بیشینه-کمینه در مسأله چهار مخزنه

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مقادیر پارامترهای هر دو فرمولبندی الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی در حل مسأله ده مخزنه

الگوریتم	تعداد مورچه	تعداد تکرار	تعداد مورچه برتر (σ)	p_{best}	ρ	β	α
سیستم مورچه	۵۰۰	۵۰۰۰	---	---	۰.۸۵	۰	۱
سیستم مورچه برتر	۵۰۰	۵۰۰۰	۲۰	---	۰.۸۵	۰	۱
سیستم مورچه ترتیبی	۵۰۰	۵۰۰۰	۲۰	---	۰.۸۵	۰	۱
سیستم مورچه بیشینه- کمینه	۵۰۰	۵۰۰۰	---	۰.۱۵	۰.۸۵	۰	۱

مورچه ترتیبی و سیستم مورچه بیشینه-کمینه حاصل شده است. شایان ذکر است که جوابهای مرغوب برای این مسأله پس از به‌کارگیری الگوریتم سیستم مورچه‌های بیشینه - کمینه به ترتیب توسط الگوریتم‌های سیستم مورچه ترتیبی، سیستم مورچه برتر و سیستم مورچه و در فرمول‌بندی I پیشنهادی با مقادیر ۴۹۵/ ۱۱۸۹ ، ۱۱۸۲/۷۱۵و ۱۰۷۷/۸۴۹ حاصل شده است و یا به عبارت دیگر با استفاده از فرمول‌بندی I الگوریتم‌های سیستم مورچه ترتیبی، سیستم مورچه برتر و سیستم مورچه در مقایسه با استفاده از فرمول‌بندی Iالگوریتم سیستم مورچه‌های بیشینه-کمینه حداکثر مقدار تابع هدف به ترتیب ۰/۰۷، ۰/۶۴ و ۹/۴۴ درصد کاهش می‌یابد. شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب مقادیر بهینه آب رها سازی شده از مخازن و ذخیره مخازن با استفاده از فرمول‌بندی‌های I و II الگوریتم سیستم مورچه‌های بیشینه-کمینه در حل مسأله ده مخزنه را نشان می‌دهد.

این مسأله با استفاده از نرم افزار لینگو، مدل شده و جواب بهینه مطلق حاصل برابر با ۱۱۹۴/۴۴ می‌باشد (جلالی، ۱۳۸۴).

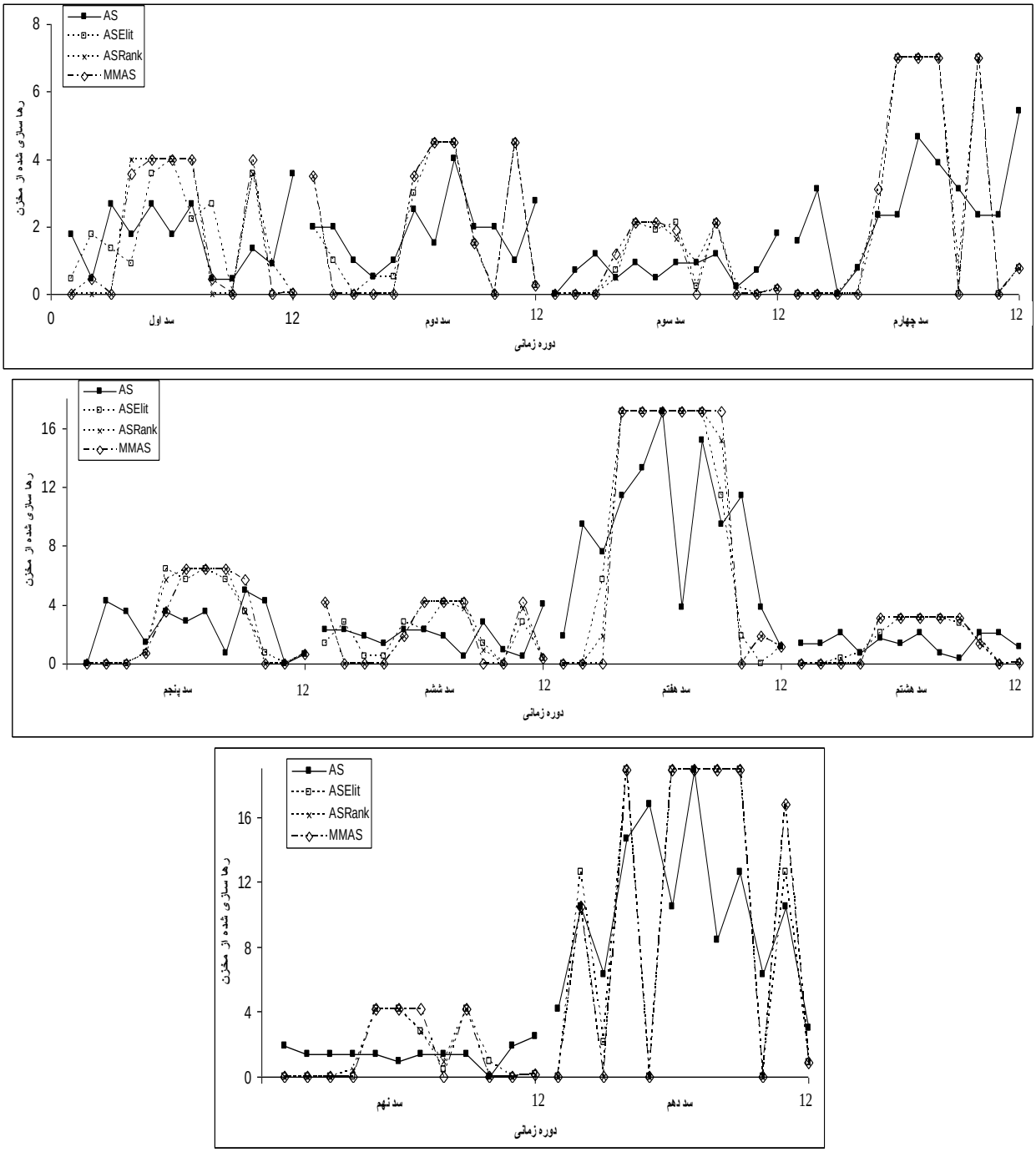
مقایسه نتایج حل مسأله با استفاده از الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی با نتایج حل مسأله با استفاده از نرم افزار لینگو نشان دهنده آن است که با استفاده از فرمول‌بندی I الگوریتم سیستم مورچه بیشینه-کمینه، حداکثر مقدار تابع هدف بدست آمده به مقادیر بهینه مطلق بدست آمده از نرم افزار لینگو نزدیکتر است و یا به عبارت دیگر با استفاده از فرمول‌بندی I الگوریتم سیستم مورچه‌های بیشینه-کمینه در مقایسه با جواب بدست آمده از نرم افزار لینگو حداکثر مقدار تابع هدف ۰/۳۵ درصدکاهش می‌یابد. همچنین، این مسأله را جلالی (۱۳۸۴) با به‌کارگیری الگوریتم سیستم جامعه مورچگان و الگوریتم سیستم مورچگان پیشرفته و با اعمال دسته بندی مجدد مورد بررسی قرار داد و به ترتیب مقادیر ۱۱۵۳/۶۳۸ و ۱۱۷۴/۶۸۷ را برای این مسأله بدست آورد که در مقایسه با نتایج استفاده از فرمول‌بندی I الگوریتم سیستم مورچه‌های بیشینه-کمینه حداکثر مقدار تابع هدف به ترتیب ۳/۰۸ و ۱/۳۱ درصد کمتر است. علاوه بر این جلالی و افشار (۲۰۰۵) با استفاده از الگوریتم سیستم مورچگان پیشرفته و با اعمال مکانیزم‌های دسته بندی مجدد، دوباره‌سازی فرامان[۲۷] (PRI) و جستجوی موضعی بـه صورت جایگزینی جز مسیر[۲۸] (PPR) حـل کـرده و جـواب ۱۱۷۸/۸ را بـرای مسأله بـه دست آوردند کـه در مقایسه بـا نتایج استفاده از فرمول‌بندی I الگوریتم سیستم مورچه‌های بیشینه-کمینه حـداکثر مقدار تـابع هـدف

جدول ۶- مقادیر مقادیر میانگین، حداکثر و حداقل تابع هدف برای۱۰ بار اجرای برنامه با استفاده از هر دو فرمول‌بندی الگوریتم‌های پیشنهادی برای حل مسأله ده مخزنه

الگوریتم	فرمول بندی	مقادیر تابع هدف			انحراف معیار نرمال سازی شده	تعداد اجرای شدنی
		حداکثر	حداقل	متوسط		
سیستم مورچه	I	۱۰۷۷.۸۴۹	۱۰۴۹.۰۱۶	۱۰۵۹.۱۲۷	۰.۰۰۸۲	۱۰
	II	۱۰۷۴.۱۸۷	۱۰۴۲.۳۳	۱۰۵۰.۲۳۶	۰.۰۰۸۹	۵
سیستم مورچه برتر	I	۱۱۸۲.۷۱۵	۱۱۶۸.۱۰۳	۱۱۷۷.۱۲۳	۰.۰۰۳۷	۱۰
	II	۱۱۳۵.۳۵۷	۱۱۲۱.۱۰۹	۱۱۳۰.۴۴۳	۰.۰۰۵۹	۵
سیستم مورچه ترتیبی	I	۱۱۸۹.۴۹۵	۱۱۸۴.۵۷۳	۱۱۸۸.۰۰۵	۰.۰۰۱۲	۱۰
	II	۱۱۴۰.۵۶	۱۱۲۵.۸۱۶	۱۱۳۴.۸۳۹	۰.۰۰۵۲	۶
سیستم مورچه بیشینه - کمینه	I	۱۱۱۹۰.۲۹۳	۱۱۸۶.۹۱۱	۱۱۸۸.۶۳۱	۰.۰۰۰۸	۱۰
	II	۱۱۴۱.۶۷۶	۱۱۳۱.۳۸۹	۱۱۳۶.۴۵۸	۰.۰۰۲۹	۶

www.SID.ir

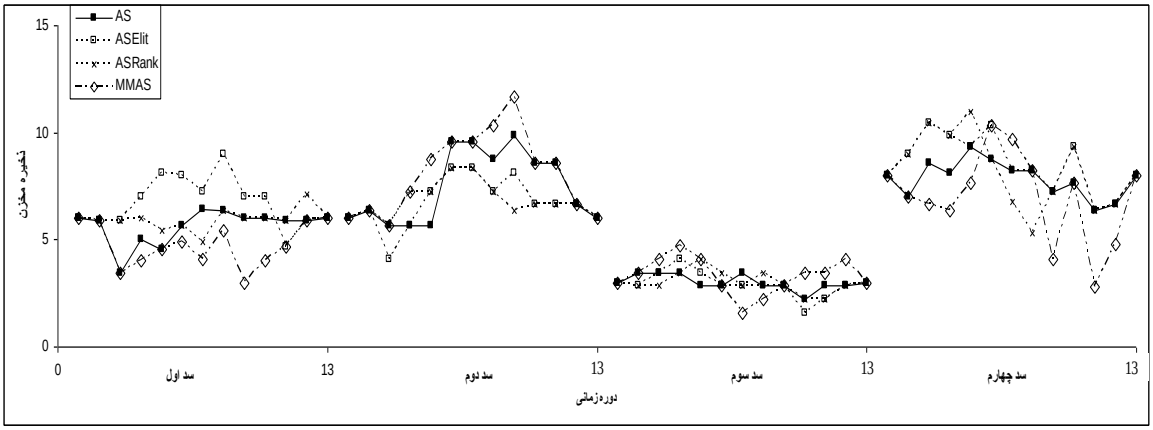
Archive of SID

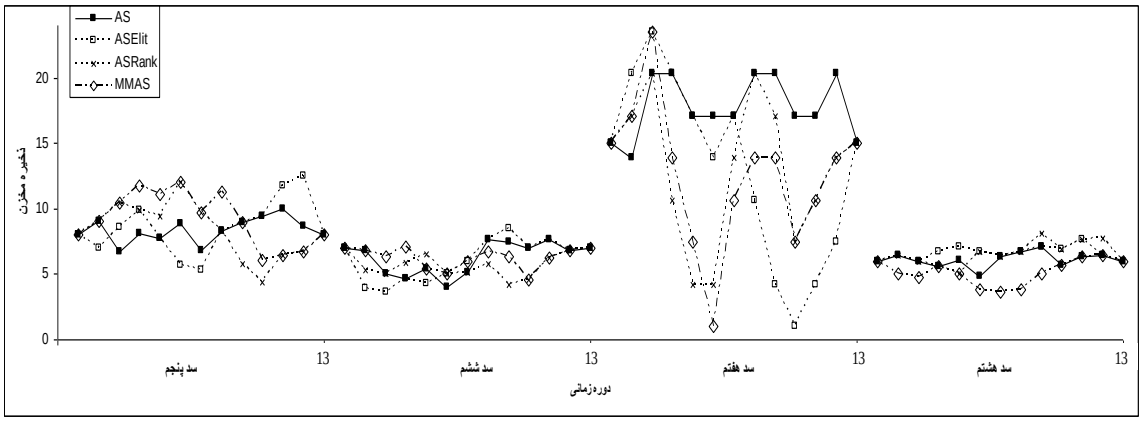


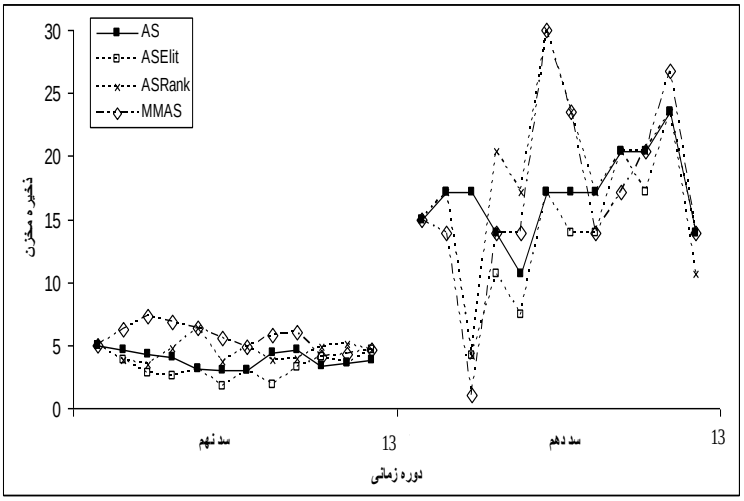
شکل ۷- مقدار بهینه آب رها سازی شده از مخازن با استفاده از فرمول‌بندی I الگوریتم سیستم مورچه بیشینه-کمینه در مسأله ده مخزنه

www.SID.ir

Archive of SID



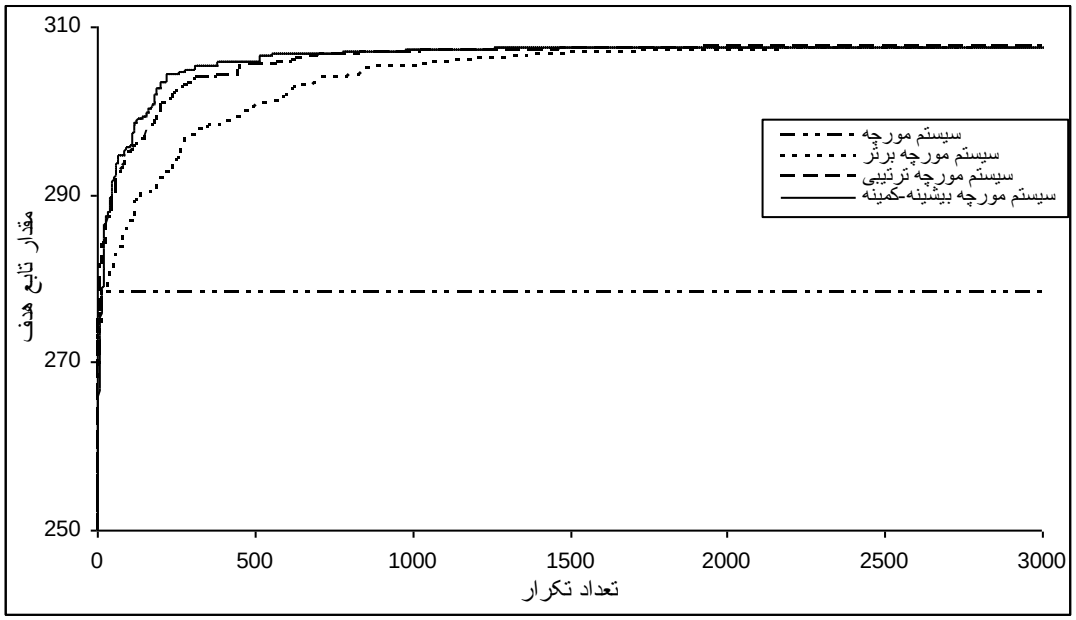




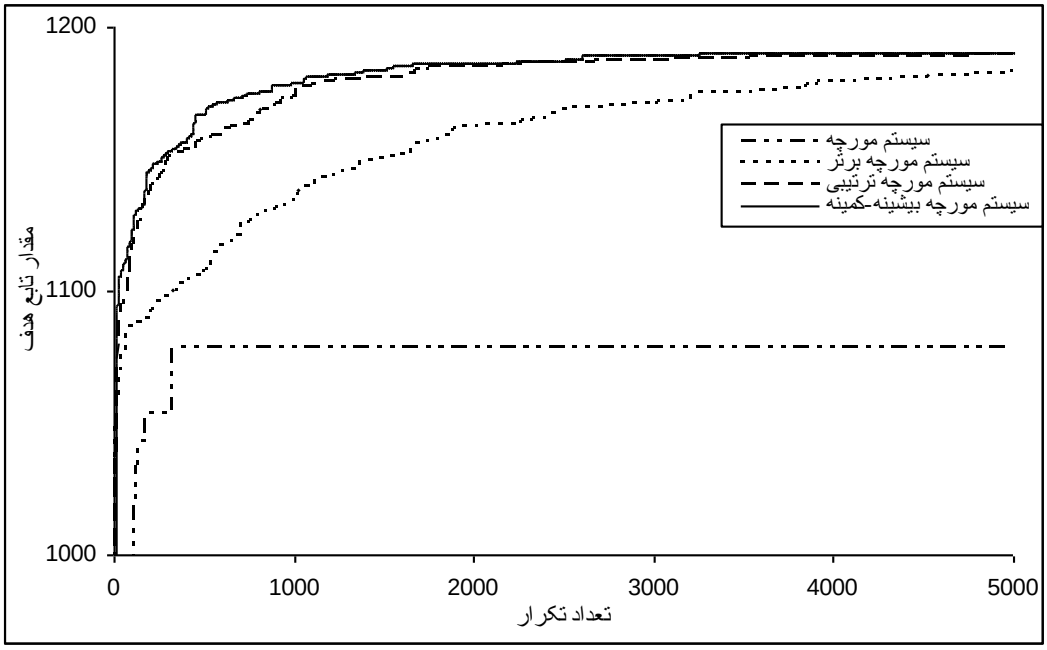
شکل ۸- مقدار بهینه ذخیره مخازن با استفاده از فرمولبندی *II* الگوریتم سیستم مورچه بیشینه-کمینه در مسأله ده مخزنه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹- نحوه همگرایی حداکثر مقدار تابع هدف مسأله با استفاده از فرمولبندی I الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی در مسأله چهار مخزنه



شکل ۱۰- نحوه همگرایی حداکثر مقدار تابع هدف مسأله با استفاده از فرمولبندی I الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی در مسأله ده مخزنه

به ۰/۹۶ درصد کمتر است. Wardlaw and Sharif (1999) و معینی و افشار (۲۰۱۳) مسأله مرجع ده مخزنه را به ترتیب با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مقید جامعه مورچگان حل کرده و جواب‌های ۱۱۹۰/۲۵ و ۱۱۹۰/۲۶ را برای آن به‌دست آوردند که در مقایسه با نتایج استفاده از فرمول‌بندی I الگوریتم سیستم مورچه‌های بیشینه-کمینه حداکثر مقدار تابع هدف به ترتیب ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۳ درصد کمتر است. مقایسه نتایج نشان دهنده آن است که جواب به‌دست آمده از به‌کارگیری فرمول‌بندی I الگوریتم سیستم مورچه بیشینه-کمینه نسبت به جواب بدست آمده از الگوریتم‌های پیشنهادی جلالی (۱۳۸۴)، جلالی و افشار (۲۰۰۵)، Wardlaw and Sharif (1999) و معینی و افشار (۲۰۱۳) مطلوب‌تر است.

شکل‌های ۹ و ۱۰، به منظور مقایسه نتایج و نحوه همگرایی حداکثر مقدار تابع هدف مسایل چهار و ده مخزنه با استفاده از فرمول‌بندی I

www.SID.ir

Archive of SID

الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی، ارائه شده است. مقایسه نتایج نشان دهنده همگرایی مطلوب‌تر و با هزینه محاسباتی کمتر الگوریتم سیستم مورچه بیشینه–کمینه نسبت به سایر الگوریتم پیشنهادی است.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با توجه به قابلیت‌های الگوریتم‌های فراکاوشی، از الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان برای حل مسأله بهره‌برداری بهینه از سیستم سد چند مخزنه استفاده شد. بر مبنای رفتار طبیعی جستجوی غذا در جامعه مورچه‌ها، در ابتدا الگوریتم سیستم مورچه معرفی شد که از محدودیت‌های مهم آن، همگرایی نابهنگام و نابجای این الگوریتم به یک جواب بهینه محلی است. لذا در طول سالیان اخیر محققین، الگوریتم‌های مختلفی را بر اساس اصول الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچگان برای غلبه بر این محدودیت ارائه نمودند. در این تحقیق از بین الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی، چهار الگوریتم سیستم مورچه، سیستم مورچه برتر، سیستم مورچه ترتیبی و سیستم مورچه بیشینه–کمینه به منظور حل مسائل پیوسته مرجع چهار و ده مخزنه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای هر یک از الگوریتم‌های مورد استفاده دو فرمول‌بندی ارائه شد که در فرمول‌بندی اول مقدار آب رها سازی شده از مخزن و در فرمول‌بندی دوم ذخیره مخزن به عنوان متغیر تصمیم مسأله منظور شد. بررسی نتایج نشان داد که الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان، الگوریتمی مناسب به منظور حل این مسأله بود و از بین الگوریتم‌های مورد استفاده، با استفاده از الگوریتم سیستم مورچه بیشینه–کمینه جوابهای مطلوب‌تری حاصل شد. همچنین جواب‌های حاصل از فرمول‌بندی اول در مقایسه با فرمول‌بندی دوم مناسب‌تر بود. با توجه به نتایج حاصل شده، استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان و بویژه الگوریتم سیستم مورچگان بیشینه–کمینه برای حل سایر مسایل بهینه‌سازی پیچیده علوم مهندسی از جمله مهندسی آب پیشنهاد می‌شود.

پی نوشت‌ها

1-Linear Programming
2-Nonlinear Programming
3-Dynamic Programming
4-Meta-heuristic
5-Genetic Algorithm
6-Honey Bees Mating Optimization
7-Ant Colony Optimization
8-Curse of Dimensionally
9-Mix Integer Nonlinear Programming (MINLP)
10-Aggregation / Decomposition
11-Ant Colony System
12-Particle Swarm Optimization
13-Colony
14-Pheromone
15-Nest
16-Food
17-Ant System
18-Elitist Ant System
19-Elitist-Rank Ant System
20-Max-Min Ant System
21-Exploration
22-Exploitation
23-Feasible
24-Differential Dynamic Programming
25-Fortran
26-Lingo
27-Pheromone Re-initiation
28-Partial Path Replacement

۶- مراجع

ستاری م ت، اسلامیان س س، ابریشمچی ا (۱۳۸۲) بهینه‌سازی مصرف آب در یک سیستم رودخانه ۹ مخزنه. مجموعه مقالات ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، هیدرولیک و منابع آب، ۵۹۷–۶۰۴

جلالی م ر (۱۳۸۴) طراحی و بهره‌برداری بهینه از هیدروسیستم‌ها با الگوریتم جامعه مورچه‌ها یک رهیافت فراکاوشی جدید. رساله دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران.

Afshar MH, Moeini R (2008) Partially and fully constrained ant algorithms for the optimal solution of large scale reservoir operation problems. Journal of Water Resources Management 22 (1): 1835–1857.

Bozorg Haddad O, Afshar A, Mariño MA (2008) Design operation of multi-hydropower reservoirs: HBMO approach. Water Resources Management 22(12): 1709–1722.

Bullnheimer B, Hartl RF, Strauss C (1999) A new rank-based version of the ant system: A computational study. Central European Journal for Operations Research and Echonomics 7(1): 25-38.

Cai X, Mckinney DC, Larson LS (2002) Piece-by-piece approach to solving large nonlinear water resources management models. ASCE Journal of Water Resources Planning and Management 127(6): 363–368.

Chen L, Chang FJ (2007) Applying a real-coded multipopulation genetic algorithm to multi-reservoir operation. Hydrological Processes 21(5): 688–698.

www.SID.ir

Archive of SID

Resources Planning and Management 130(2): 93-111.

Moeini R, Afshar MH (2011) Arc-based constrained ant colony optimization algorithms for the optimal solution of hydropower reservoir operation problems. Canadian Journal of Civil Engineering 38: 811-824.

Moeini R, Afshar MH (2013) Extension of the Constrained Ant Colony Optimisation Algorithms for Optimal operation of Multi-reservoir Systems. Journal of Hydroinformatics 15(1): 155-173.

Murray DM, Yakowitz S (1979) Constrained differential dynamic programming and its application to multireservoir control. Water Resources Research 15(5): 1017–1027.

Mohan S, Rapure DM (1992) multi objective analysis of multi reservoir system. Journal of Water Resources Planning and Management 118(4): 356-370.

Mousavi J, Karamouz M (2003) Computational improvement for dynamic programming models by diagnosing infeasible storage combinations. Advances in Water Resources 26(8): 851–859.

Oliveira R, Loucks D (1997) Operation rules for multi reservoir systems. Water Resources Research 33(4): 839–852.

Peng CH, Buras N (2000) Dynamic operation of a surface water resources system. Water Resources Research 36(9): 2701–2709.

Ponnambalam K, Adams B (1996) Stochastic Optimization of multireservoir systems using a heuristic algorithm: case study from India. Water Resources Research 32(3): 733-741.

Stutzle T, Hoos HH (2000) Max-Min Ant System. Future Generation Computer Systems 16(8): 889-914.

Teegavarapu RSV, Simonovic SP, (2000) Short-term operation model for coupled hydropower reservoirs. Journal of Water Resources Planning and Management 126(2): 98-106.

Wardlaw R, Sharif M (1999) Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation. Journal of Water Resources Planning and Management 125(1): 25–33.

Chow VT, Cortes-Rivera G (1974) Application of DDDP in water resources planning. Res. Rep. 78, Univ. of Ill. Water resources Center, Urbana.

Colorni A, Dorigo M, Maniezzo V (1991) Ant system: An autocatalytic optimizing process. Tech. Report 91-016, Politecico di Milao, Italy.

Dorigo M, Gambardella LM (1997) Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem. IEEE Transactions on Evolutionary computation 1(1): 53-66.

Dorigo M, Manieezzo V, Colorni A (1996) The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics-part B 26(1): 29-41.

Dorigo M, Gambardella LM, Di Caro G (1999) Ant algorithms for discrete optimization. Artifical life 5(2):137-172.

Esat V, Hall MJ (1994) Water resource system optimization using genetic algorithms. Hydro informatics'94, pro., 1st Int. Conf. on Hydro informatics, Balkerma, Rotterdam, The Netherlands, 225–231.

Fahmy HS, King JP, Wentzle MW, Seton JA (1994) Economic optimization of river management using genetic algorithms. Int. Summer Meeting, AM. Soc. Agric. Engrs, paper no. 943034, St. Joseph, Michigan.

Goos S, Aron S, Deneubourg JL, Pasteels JM (1989) Self-organized shortcuts in the Aregentine ant. Naturwissenschaften 76: 579-581.

Jalali MR, Afshar A (2005) Semi-continuous ACO Algorithms. technical report, Hydroinformatics Center, Civil Engineering Department, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Jalali MR, Afshar A, Marino MA (2007) Multi-colony ant algorithm for continuous multi-reservoir operation optimization problems. Journal of Water Resources Research 21(9): 1429–1447.

Kumar DN, Reddy J (2007) multipurpose reservoir operation using particle swarm optimization. Journal of Water Resources Planning and Management 133(3): 192–201.

Labadie JW (2004) Optimal operation of multireservoir systems: state of the art review. Journal of Water

www.SID.ir