

حل مسأله بهره برداری بهینه از مخزن برقابی سد دز با استفاده از الگوریتم مورچه بیشینه-کمینه

رامتین معینی^۱، دکتر محمد هادی افشار^۲

۱. دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران، تلفن: ۶۲۲۴ ۷۳۹۱-۰۲۱، نمابر: ۷۷۲۴۰۳۹۸-۰۲۱
۲. دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران، تلفن: ۷۳۹۱۳۱۵۹-۰۲۱، نمابر: ۷۷۲۴۰۳۹۸-۰۲۱

پست الکترونیک: rmoeini@CivilEng.iust.ac.ir
پست الکترونیک: mhafshar@iust.ac.ir

خلاصه

در چند دهه اخیر مسائل علمی زیادی از دنیای اطراف ما فرمول بندی شده و توسط روش های مختلف بهینه سازی حل گردیده اند. یکی از مهمترین مسایل بهینه سازی در زمینه مدیریت منابع آب، مسأله بهره برداری بهینه از مخازن برقابی سد ها میباشد؛ که الگوریتم ها و روشهای مختلفی برای حل این مسأله بکار گرفته شده است. امروزه به کارگیری الگوریتم های فراکاوشی برای حل مسأله بهینه سازی بیش از سایر الگوریتم ها مورد توجه قرار گرفته است. یکی از مهمترین این الگوریتم ها، الگوریتم جامعه مورچه ها میباشد. اولین الگوریتم پیشنهاد شده جامعه مورچه ها، روش سیستم مورچه می باشد. در طول سالهای اخیر نیز، برای عملکرد بهتر این روش و کاهش معایب آن، الگوریتم اصلی و پایه تعریف شده جامعه مورچه ها اصلاح شده، و الگوریتم های جدیدی بر پایه آن تعریف شده است. یکی از این الگوریتم های تعریف شده، الگوریتم سیستم مورچه های بیشینه-کمینه می باشد؛ که در این مقاله به آن اشاره شده است. اولین گام برای حل مسأله با استفاده از الگوریتم مورچه، انتخاب متغیر تصمیم و سپس تعریف گراف مربوطه برای مسأله می باشد. در این مقاله برای حل مسأله بهره برداری بهینه از مخزن برقابی، یک بار مقدار آب رها سازی شده از مخزن در هر ماه و بار دیگر میزان آب ذخیره شده مخزن در همراه به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است؛ و با تعریف گراف مربوطه، مسأله بهره برداری بهینه از مخزن برقابی سد دز با استفاده از الگوریتم مورچه های بیشینه-کمینه و برای هر دو حالت فوق حل شده است و نتایج آنها با نتایج مدل سازی مسأله با استفاده از نرم افزار Lingo و سایر روشها مورد بررسی قرار گرفته است. با مقایسه نتایج حل مسأله با استفاده از الگوریتم سیستم مورچه های بیشینه-کمینه با نتایج مدل سازی مسأله با استفاده از نرم افزار Lingo، نشان داده شده است که با بکارگیری این الگوریتم جواب مناسبی برای این مسأله حاصل شده است.

کلمات کلیدی: الگوریتم جامعه مورچه ها، سیستم مورچه های بیشینه-کمینه، بهره برداری بهینه از مخزن برقابی، متغیر تصمیم

مقدمه

در حوزه مهندسی آب مسایل مختلفی وجود دارد که سالهاست مورد بحث و تبادل نظر بین محققین مختلف علوم مهندسی و آب قرار گرفته است. یکی از مهمترین مسایل مورد بررسی، مسأله بهره برداری بهینه از مخازن سد ها می باشد. با پیچیده تر شدن مسایل و افزایش ابعاد آن، امکان حل مسأله با روشهای صریح محاسباتی و یا با روشهای مرسوم بهینه سازی و با حافظه محدود محاسباتی موجود کاهش می یابد و یافتن جواب بهینه مطلق در این شرایط بسیار مشکل می باشد. در بسیاری از مسایل واقعی، تنها با رسیدن به جوابهای خوب و مناسب و نه رسیدن به جواب بهینه مطلق، هدف مورد نظر ارضا می شود. به همین دلیل استفاده از روشهای کاوشی یا الگوریتمهای فراکاوشی^۳ که تضمین کننده جواب بهینه مطلق نبوده ولی در طول حل مسأله جوابهای ممکن مختلف ایجاد نموده و نهایتاً بهترین جواب را که جواب خوب و مناسبی می باشد را انتخاب می نمایند؛ مورد توجه قرار گرفته است. روش هایی که ریشه در طبیعت دارند را، الگوریتم های فراکاوشی می نامند. امروزه الگوریتم های فراکاوشی با پیشرفتی سریع در حل مسایل پیچیده و مشکل

^۱ دانشجوی دکتری عمران - گرایش آب
^۲ استادیار دانشکده عمران

^۳ Metaheuristic

بهینه سازی مورد استفاده قرار گرفته اند. در سالهای اولیه این الگوریتم شامل نورد شبیه سازی شده¹ (SA)؛ الگوریتم ژنتیک² (GA)؛ جستجوی ممنوعه³ (TS) و..... بود. کاربرد موفقیت آمیز این روش های حل مسایل بهینه سازی بر اساس الگوریتم های برگرفته شده از رفتار طبیعت، باعث شده است که سیستم های طبیعی بعنوان منبع اساسی ایده های مدل سازی و ایجاد سیستم های مصنوعی مختلف و جدید نظیر الگوریتم مورچه⁴ (ACO)؛ الگوریتم PSO⁵ و به طور کامل پذیرفته شود. روش های به کار گرفته شده اخیر به منظور ارتقاء این الگوریتم ها نسبت به الگوریتم های اولیه چه در رسیدن به معیارهای مورد نظر و چه در جهت کاهش زمان اجرا، مورد استفاده قرار گرفته اند.

رفتار جستجوی غذا یکی از مهمترین عوامل ایجاد سیستم های مصنوعی بوده است. از جمله این حشرات می توان به مورچه اشاره کرد. مورچه ها در طبیعت عموماً کور هستند؛ اما با استفاده از حس بویایی مسیریابی مینمایند. براساس این خصوصیت رفتاری مورچه ها، Colomi و همکارانش در سال ۱۹۹۱ مورچه های مصنوعی را پیشنهاد نمودند[۱]. این الگوریتم براساس رفتار طبیعی مورچه ها دریافتن کوتاهترین مسیر ممکن بین لانه و منبع غذا شکل گرفته است. وقتی مورچه ای به دنبال غذا می گردد، در طول مسیر حرکت خود ماده بوداری بنام فرامان از خود به جا می گذارد، که سایر مورچه هایی که در جستجوی غذا هستند را به عبور از آن مسیر تشویق می نمایند؛ زیرا که با عبور مورچه ها غلظت فرامان آن مسیرافزایش یافته و احتمال انتخاب این مسیر توسط مورچه های بعدی نیز افزایش می یابد [۲]. اولین الگوریتمی که براین اساس شکل گرفت، الگوریتم سیستم مورچه⁶ بود که توسط Dorigo و همکارانش در سال ۱۹۹۶ معرفی گردید[۳] - که مسائل مختلفی با بکار گیری این الگوریتم حل شده است- از جمله مسأله فروشنده دوره گرد (1996, Dorigo et al.)، رنگ بندی گراف (1997, Hertz & Costa) و مسأله روند یابی شبکه (1998, Di Caro and Dorigo) با استفاده از این الگوریتم مورد بررسی قرار گرفته است [۴، ۵].

بدلیل مشکلاتی که در الگوریتم اولیه پیشنهادی (یعنی AS) وجود داشت، این الگوریتم اصلاح شده و الگوریتم های توسعه یافته تری پیشنهاد گردید. یکی از کارآمدترین این الگوریتم ها، الگوریتم سیستم مورچه های بیشینه- کمینه^۷ (MMAS) می باشد. در این مقاله ابتدا توضیحاتی مختصر درباره الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچه ها و همچنین روش «MMAS» داده شده است. سپس مسأله بهره برداری از مخزن برقیایی سد دز با استفاده از روش «MMAS» و در نظر گرفتن مقدار آب رها شده از مخزن در هر دوره زمانی (T_i) -حالت اول- و میزان آب ذخیره شده مخزن در هر دوره زمانی (S_i) - حالت دوم-، به عنوان متغیرهای تصمیم، و با تعریف گراف مربوطه حل شده؛ و نتایج و خروجی های دو روش با یکدیگر و با نتایج مدل سازی مسأله با استفاده از نرم افزار Lingo مقایسه شده است.

الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچه ها «ACO» و سیستم مورچه های بیشینه- کمینه (MMAS)

در روش فراکاووشی بهینه سازی جامعه مورچه ها، یک جامعه ای از مورچه های مصنوعی^۸ برای پیدا کردن جواب های مسائل بهینه سازی با هم همکاری می کنند. مورچه های مصنوعی یک طبیعت دوگانه دارند (Doigo, 1996). از یک طرف چکیده ای از ویژگی های رفتاری مورچه های طبیعی در پیدا کردن کوتاهترین مسیر می باشد و از طرف دیگر آنها قادر به توانمند کردن برخی از توانایی هایی که در مورچه های طبیعی وجود ندارند را، دارا می باشند. به کار بردن الگوریتم مورچه برای مسایل بهینه سازی ترکیبی، نیازمند تعریف گراف برای آن مساله می باشد [۶] (Dorigo and Gambardella, 1997). به عنوان نمونه گراف $G=(D,L,C)$ را در نظر بگیرید، که $D=\{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ مجموعه نقاط تصمیم می باشد، که در این نقاط تصمیم می گیریم؛ و $L=\{L_{ij}\}$ که مجموعه انتخاب های j ($j=1,2,\dots,n$) در هر یک از نقاط تصمیم i ($i=1,2,\dots,n$) و $C=\{C_{ij}\}$ مجموعه هزینه های هر یک از انتخاب های L_{ij} می باشد. یک مسیر موجه^۹ تعریف شده برای گراف را یک جواب^{۱۰} (φ) و مسیری کمترین هزینه را داشته باشد یک جواب بهینه^{۱۱} (φ^*) می نامند. هزینه هر جواب را با $f(\varphi)$ و هزینه جواب بهینه را با $f(\varphi^*)$ نشان می دهند. [۷].

به طور کلی مراحل اساسی و اصلی الگوریتم مورچه را می توان به صورت ذیل تعریف نمود [۶]:

¹ Simulated Annealing

² Genetic Algorithms

³ Tabu Search

⁴ Ant Colony Algorithms

⁵ Particle swarm optimization

⁶ Ant Systems

⁷ Max Min Ant Systems

⁸ Artificial ant

⁹ Feasible

¹⁰ Solution

¹¹ Optimal Solution

۱. m مورچه بر روی n نقطه تصمیم در نظر گرفته می شود و در ابتدا یک مقدار فرمان مناسب بر روی تمام مسیرهای گراف در نظر گرفته می شود.
 ۲. در نقطه تصمیم i برای انتخاب گزینه بعدی یک تابع احتمال همانند فرمول ذیل تعریف می کنیم (یک مورچه که در نقطه تصمیم i واقع شده است و می خواهد تصمیم j را بگیرد) و این روند تا موقع عبور از یک نقاط تصمیم ادامه می یابد. موقعی که نقاط تصمیم پوشش داده شود، یک جواب (φ) ساخته شده است. تابع احتمال اصلی تعریف شده توسط Dorigo و همکارانش به فرم ذیل می باشد:

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

در فرمول فوق، $P_{ij}(k, t)$ = احتمال اینکه مورچه k ام در دوره t و نقطه تصمیم i؛ تصمیم j را بگیرد؛ η_{ij} = مقادیر هدایتگر کاوشی مسیر ij و $\tau_{ij}(t)$ = مقادیر فرمان مسیر ij در دوره t ام می باشند.

۳. براساس تابع هدف تعریف شده، هزینه بهترین جواب تولید شده در آن تکرار محاسبه می شود.

۴. بعد از انجام مراحل دوم و سوم، فرمان مسیر اصلاح شده و به سراغ تکرار بعد می رویم. فرم کلی رابطه اصلاح فرمان (پیشنهاد شده توسط Dorigo و همکارانش در سال ۱۹۹۶) به صورت زیر می باشد:

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij} \quad (2)$$

که ρ در فرمول فوق، ضریب تبخیر فرمان نامیده می شود، و عددی بین صفر و یک می باشد ($0 \leq \rho \leq 1$).

هدف از به هنگام سازی و اصلاح فرمان، تمرکز بیشتر فرایند جستجوی مورچه ها بر یک منطقه مناسب از فضای جستجو می باشد، که امید آن می رود، با متمرکزتر کردن جستجو در آن منطقه، به جواب مطلوب تری برسیم. محث بهنگام سازی فرمان شاید بخشی از الگوریتم مورچه باشد که بیشترین مطالعه بر روی آن صورت گرفته است و روش های مختلف بهنگام سازی فرمان تاکنون پیشنهاد شده است.

رفتار جستجوی الگوریتم را می توان با استفاده از دو واژه اکتشاف^۱ و بهره برداری^۲ مشخص نمود. اکتشاف توانایی الگوریتم در جستجوی گسترده و وسیع فضای مساله می باشد و بهره برداری توانایی الگوریتم در جستجو موضعی در فضای همسایگی جوابی که قبلاً پیدا شده است، میباشد. افزایش بهره برداری ممکن است باعث همگرایی سریع مساله به یک جواب غیر بهینه و یا بهینه موضعی می شود، و افزایش اکتشافات باعث افزایش هزینه محاسباتی در پیدا کردن جوابهای مناسب، به دلیل همگرایی کند مساله، می شود. بنابراین لازم است که یک تعادلی بین اکتشافات و بهره برداری برقرار کرد. به همین اساس الگوریتم های مختلفی از الگوریتم بهره سازی مورچه ها منشعب شده است که تفاوت بین الگوریتم های مختلف مورچه اشاره شده، در چگونگی محاسبه مقدار $\Delta \tau_{ij}$ و نیز نحوه اعمال آن می باشد [۸].

Stutzle و Hoos در سال ۲۰۰۰، برای جلوگیری از وقوع همگرایی ناهنگام و سریع مسایل و نیز تکیه داشتن بر پدیده بهره برداری، روش سیستم مورچه های بیشینه-کمینه (MMAS) را پیشنهاد کرده اند [۱۰، ۹]. اساس و پایه این روش بر پایه تعریف کردن یک مرز دینامیکی برای شدت فرمان مسیرها می باشد. مرز پایین دست را با $\tau_{min}(t)$ و مرز بالا دست را با $\tau_{max}(t)$ نمایش می دهند و در هر لحظه شدت فرمان تمام مسیرها بین این دو مقدار می باشد. مرز بالایی فرمان (τ_{max}) در هر تکرار، از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\tau_{max}(t) = \frac{1}{1 - \rho} \frac{\phi}{f(s^{gb}(t))} \quad (3)$$

که در فرمول فوق، ρ = ضریب تبخیر فرمان؛ ϕ = ضریب جبران فرمان (معمولاً $\phi = 1$) و $f(s^{gb}(t))$ = هزینه جواب بهینه در دوره t ام می باشد.

مرز پایین فرمان (τ_{min})، نیز از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$\tau_{min} = \frac{\tau_{max}(t)(1 - \sqrt[n]{p_{best}})}{(NO_{avg} - 1)\sqrt[n]{p_{best}}} \quad (4)$$

که در فرمول فوق، p_{best} = احتمال اینکه بهترین جواب بهینه موضعی دوباره تکرار شود؛ NO_{avg} = میانگین تعداد گزینه های موجود در هر نقطه تصمیم مساله می باشد. می توان فرمول بهنگام سازی فرمان را به صورت زیر تعریف نمود:

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}^{ib}(t) + \Delta \tau_{ij}^{gb}(t) I_N \left\{ \frac{t}{T_{gb}} \right\} \quad (5)$$

¹ Exploration

² Exploitation

همانگونه که از فرمول فوق متوجه می شویم، برای اینکه این روش پدیده «بهره برداری» را نیز پوشش دهد، در انتهای هر تکرار، فرامان بهترین مسیری را که در آن تکرار طی شده است $(s_l(t))$ ، اصلاح شده؛ و همچنین بعد از هر دوره زمانی T_{gb} فرامان مسیری را که تا این تکرار بهترین جواب بهینه موضعی $(s^{gb}(t))$ را تولید نموده است، بهنگام سازی کرده و فرامان آن مسیر را افزایش می دهیم. مقدار $\Delta \tau_{ij}^{ib}(t)$ طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Delta \tau_{ij}^{ib}(t) = \frac{\phi}{f(s_l(t))} I_{s_l(t)} \{(i, j)\} \quad (6)$$

که در فرمول فوق، ϕ = ضریب جبران فرامان (معمولاً $\phi = 1$) و $f(s_l(t))$ = هزینه بهترین جواب ساخته شده در دوره تکرار t ام می باشد. اگر مسیر انتخاب شده، مسیر بهترین جواب تولید شده در تکرار t ام باشد، $I_{s_l(t)}$ برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر است.

تشریح مسأله بهره برداری بهینه از مخزن برقآبی سد

در مسأله بهره برداری مخزن، متغیر تصمیم مسأله، می تواند حجم ذخیره مخزن در هر دوره زمانی $(s(t))$ و یا میزان رها سازی از مخزن در هر دوره زمانی $(r(t))$ باشد؛ که ما برای حل مسأله نمونه هر دو را به عنوان متغیر تصمیم منظور کرده ایم. در مسأله بهره برداری مخزن برقآبی تابع هدف میتواند به صورتهای مختلف تعریف شود، که درمسأله مورد بررسی، تابع هدف مساله به شکل زیر می باشد:

$$O.F: \text{ Minimize } \sum_{t=1}^{NT} \left(1 - \frac{p_t}{\text{power}} \right) \quad (7)$$

که در فرمول فوق، NT = کل دوره های زمانی؛ p_t = توان تولیدی نیروگاه در دوره زمانی t ام (بر حسب مگا وات)؛ و Power = ظرفیت نصب نیروگاه (بر حسب مگا وات) می باشد.

$$p_t = \min \left[\left(\frac{g \times \eta \times R_t}{PF} \right) \times \left(\frac{h_t}{1000} \right), \text{power} \right] \quad (8)$$

$$h_t = \left(\frac{H_t + H_{t+1}}{2} \right) - TWL \quad (9)$$

که در فرمولهای فوق، g = شتاب ثقل (m^2/s)؛ η = بازده نیروگاه؛ PF = ضریب کارکرد نیروگاه؛ h_t = بار آب موثر بر نیروگاه؛ H_t = تراز مخزن از سطح دریا (متر)؛ R_t = میزان دبی آب عبوری از توربین در دوره زمان t ام؛ TWL = تراز پایاب نیروگاه از سطح دریا (متر)؛ و Power = ظرفیت نصب نیروگاه (مگا وات) می باشد.

درخصوص قید های موجود درمبحث بهره برداری مخزن، می توان قید های مسأله مورد بررسی را به صورت زیر تعریف نمود. اصلی ترین قید مسأله رابطه پیوستگی می باشد:

$$s(t+1) = s(t) + I(t) - r(t) - l(t) \quad (10)$$

که در فرمول فوق، $S(t)$ = حجم مخزن در ابتدای دوره زمانی t ؛ $I(t)$ = میزان جریان ورودی به مخزن در دوره زمانی t ؛ $r(t)$ = میزان رهاسازی از مخزن در دوره زمانی t ؛ و $l(t)$ = میزان تلفات در دوره زمانی t می باشد. ازجمله قیود دیگر مسأله می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

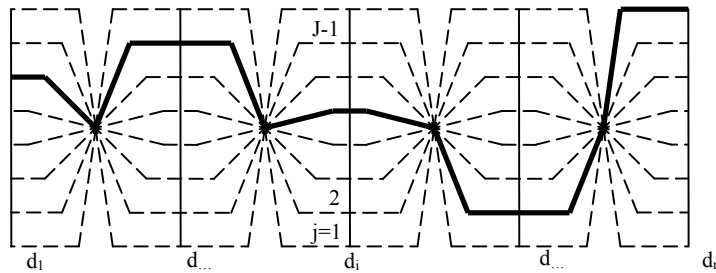
$$r_{\min} \leq r(t) \leq r_{\max} \quad (11)$$

که در فرمول فوق، r_{\min} = حداقل میزان رهاسازی از مخزن؛ r_{\max} = حداکثر میزان رهاسازی از مخزن می باشد.

$$s_{\min} \leq s(t) \leq s_{\max} \quad (12)$$

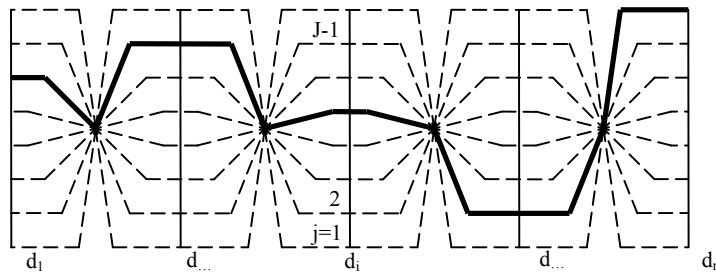
که در فرمول فوق، s_{\min} = حداقل حجم مجاز مخزن؛ s_{\max} = حداکثر حجم مجاز مخزن می باشد.

در صورتیکه مقدار آب رها شده از مخزن سد به عنوان متغیر تصمیم درنظر گرفته شود؛ می توان، بازه درنظر گرفته شده برای مقادیر رهاسازی از مخزن در هر گام زمانی را، به چندین دسته تقسیم نمود و به هر یک از دسته ها یک مقدار (متناظر با هر مسیر) نسبت داد؛ و به عبارت دیگر شکل گراف به طور شماتیک به صورت شکل ۱ تعریف می شود. در این حالت مقدار فرامان اولیه و مقدار هدایتگر کاوشی (η_{ij}) را که به همه مسیرها نسبت می دهیم، برابر عدد ثابت یک منظور می کنیم.



شکل ۱- گراف مسأله بهره برداری مخزن برقایی درحالتیکه متغیر تصمیم میزان آب رها سازی شده از مخزن باشد

در صورتیکه مقدار حجم آب ذخیره شده در مخزن سد به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شود؛ می توان، بازه در نظر گرفته شده برای مقادیر حجم آب ذخیره در مخزن در هر گام زمانی را، به چندین دسته تقسیم نمود و به هر یک از دسته ها یک مقدار، متناظر با یک مسیر، نسبت داد؛ و به عبارت دیگر شکل گراف مسأله به صورت شکل ۲ تعریف می شود. در این حالت نیز مقدار فرمان اولیه برابر عدد ثابت یک منظور می کنیم. همچنین در این حالت امکان تعریف مقادیر هدایتگر کاوشی وجود ندارد؛ لذا مقادیر آنرا برای تمامی مسیرها عددی ثابت منظور می کنیم $(\eta_{ij} = 1)$.



شکل ۲- گراف مسأله بهره برداری مخزن درحالتیکه متغیر تصمیم میزان حجم آب ذخیره شده در مخزن باشد

مسأله نمونه

مسأله نمونه مورد بررسی ما، مسأله بهره برداری بهینه از مخزن برقایی سد دز می باشد. این مسأله برای دوره ۵ ساله یا به عبارت دیگر ۶۰ ماهه و در دو حالت حل شده است. در حالت اول، میزان آب خروجی از سد در هر ماه و در حالت دوم میزان حجم آب ذخیره شده در مخزن در هر ماه به عنوان متغیر تصمیم می باشد. تابع هدف این مسأله مطابق با فرمول تعریف شده قبلی (فرمول شماره ۷) می باشد. گراف تعریف شده برای این مسأله مطابق شکل های ۱ و ۲ می باشد. برای حل این مسأله حجم ابتدایی مخزن معلوم و برابر ۱۴۳۰ میلیون متر مکعب می باشد. حجم ماکزیمم و مینیمم مخزن نیز به ترتیب ۳۳۴۰ میلیون متر مکعب و ۸۳۰ میلیون متر مکعب می باشد و ماکزیمم و مینیمم میزان خروجی آب از مخزن در هر دوره زمانی نیز به ترتیب ۱۰۰۰ میلیون متر مکعب و صفر می باشد؛ یا به عبارت دیگر:

$$830 \leq s(t) \leq 3340 \quad (13)$$

$$0 \leq r(t) \leq 1000 \quad (14)$$

نیروگاه سد دز از ۸ واحد ۸۰/۸ مگا واتی تشکیل شده است، که زمان کارکرد آن در طول روز حدود ۱۰ ساعت می باشد. به این ترتیب در محاسبات ضریب کارکرد معادل ۰/۴۱۷ می باشد. ظرفیت نصب نیروگاه معادل ۶۵۰ مگا وات و بازده آن ۹۰٪ منظور گردیده است. جهت تعیین مقدار آب موثر، تراز پایاب نیروگاه سد دز معادل ۱۷۲ متر از سطح دریا منظور شده است. همانگونه که اشاره شد در روابط تولید انرژی، بار آب موثر بر توربین ها (H_t) می بایست تعریف شود. جهت استفاده از مقادیر حجم- ارتفاع مخزن، یک چند جمله ای درجه سه بر مقادیر برازش داده شده است. این رابطه به همراه ضرایب آن به صورت زیر می باشد:

$$H(t) = a + b \times s(t) + c \times s(t)^2 + d \times s(t)^3 \quad (15)$$

$$a = 249.83364, \quad b = 0.0587205, \quad c = -1.37 \times 10^{-5}, \quad d = 1.526 \times 10^{-9}$$

پس از مشخص شدن موارد فوق نوبت به انتخاب الگوریتم مورچه مناسب جهت حل مسأله می باشد، که در اینجا با توجه به خصوصیات بارز الگوریتم مورچه

بیشینه-کمینه (MMAS)، این الگوریتم از مجموعه الگوریتم های ACOA برای حل مسایل انتخاب شده است. مرحله نهائی مربوط به تنظیم پارامترهای مدل است. عموماً در روش های حل فراکاوشی، به دلیل ماهیت تصادفی و تقریبی آنها، پارامترهای بسیاری وارد می گردند. با تغییر هر کدام از این پارامترها عملکرد مدل، همگرایی و مرغوبیت جوابها تغییر خواهد کرد. به این ترتیب می بایست پس از تهیه مدل، این پارامترها در بهترین حالت تنظیم گردند، که این مساله با بکارگیری بهترین مقادیر برای پارامترها حل شده است.

نتایج و خروجی ها

مسأله نمونه با روش MMAS در حالت اول و به ازاء مقادیر جدول ۱ حل شده است.

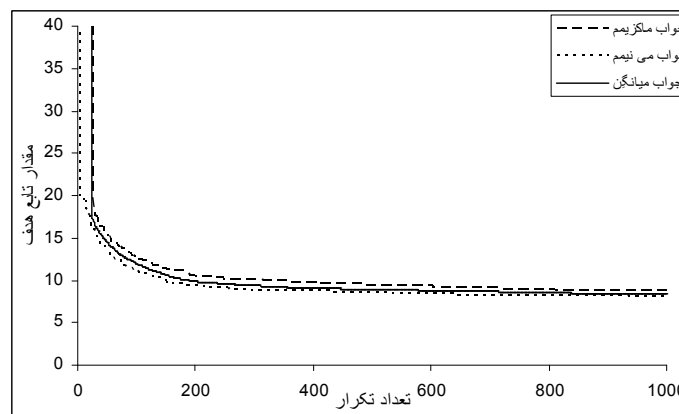
جدول ۱- مقادیر پارامترهای روش MMAS برای حالت های اول و دوم

حالت	تعداد مورچه	تعداد تکرار	α	β	ρ	P_{best}	گسسته سازی
اول	۲۰۰	۱۰۰۰	۱	۰/۱	۰/۹	۰/۱۵	۱۸
دوم	۲۰۰	۱۰۰۰	۱	۰	۰/۹	۰/۱۵	۱۸

نتایج و مقادیر تابع هدف برای ۱۰ بار اجرای برنامه در این حالت، مطابق جدول ۲ و شکل ۳ می باشد. سپس این مسأله به ازاء مقادیر جدول ۱ و در حالت دوم و با روش MMAS حل شده است. نتایج و مقادیر تابع هدف برای ۱۰ بار اجرای برنامه در این حالت، مطابق جدول ۲ و شکل ۴ می باشد. برای اعمال قیود مسأله از روش ضرایب پنالتی ثابت استفاده شده است. مقدار تابع هدف برای جواب بهینه مطلق برابر ۷/۳۷۲ می باشد، که با بکار گیری نرم افزار Lingo بدست آمده است. همچنین این مسأله در دوره زمانی ۵ ساله توسط جلالی و افشار (۱۳۸۴) و با استفاده از دو الگوریتم جامعه مورچگان^۱ ACS استاندارد و پیشرفته حل گردیده است [۱۱]. با بکارگیری الگوریتم ACS استاندارد جواب امکان پذیر و موجهی برای مسأله حاصل نشده است اما با استفاده از الگوریتم ACS پیشرفته، مقدار ۷/۵۰۴ برای ۵۰۰۰ تکرار حاصل شده است. با مقایسه نتایج بدست آمده از روش MMAS با نتایج بدست آمده ناشی از حل این مسایل با بکار گیری سایر روش ها، مشاهده می شود که با بکارگیری الگوریتم MMAS، جوابی قابل قبول همراه با هزینه محاسباتی مناسب، حاصل شده است.

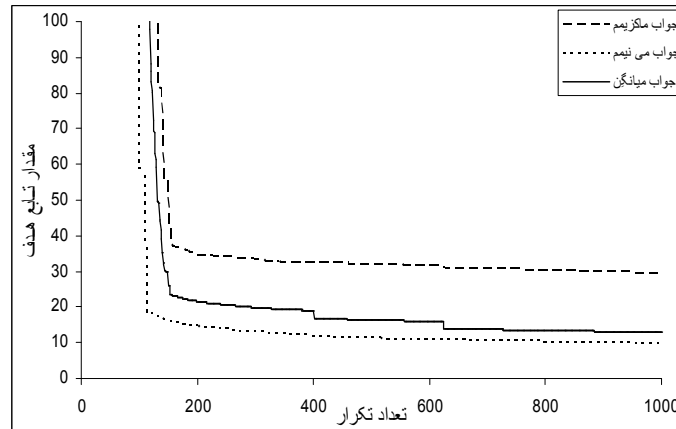
جدول ۲ - مقادیر میانگین و ماکزیمم و می نیمم مقدار تابع هدف برای ۱۰ بار اجرای برنامه در حالت های اول و دوم

حالت	ماکزیمم مقدار تابع هدف	مینیمم مقدار تابع هدف	میانگین مقدار تابع هدف
اول	۸/۶۶۹	۸/۱۰۱	۸/۳۸۵
دوم	۲۹/۵۴۳	۹/۶۶۸	۱۲/۹۲۳



شکل ۳ - مقادیر میانگین و ماکزیمم و می نیمم مقدار تابع هدف برای ۱۰ بار اجرا (حل حالت اول)

¹ Ant Colony Systems



شکل ۴ - مقادیر میانگین و ماکزیمم و می نیمم مقدار تابع هدف برای ۱۰ بار اجرا (حالت دوم)

همانگونه که مشاهده می شود محاسبه مقادیر تابع هدف بدست آمده، به چندین پارامتر وابسته است؛ که برای بدست آوردن بهینه ترین جواب بایستی برای این پارامترها آنالیز حساسیت صورت بگیرد. بعنوان مثال اگر بخواهیم تاثیر تعداد مورچه را بر روی جواب مورد بررسی قرار دهیم، از مقادیر جدول ۱ استفاده کرده و فقط تعداد مورچه ها را تغییر می دهیم، که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می شود با افزایش تعداد مورچه مقادیر تابع هدف به مقادیر بهینه مطلق نزدیکتر می شود. همچنین در حالت دوم نیز از مقادیر جدول ۱ استفاده کرده و فقط تعداد مورچه ها را تغییر می دهیم، که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. برای سایر پارامترها نیز بایستی آنالیز حساسیت صورت بگیرد تا مقادیر بهینه آنها بدست آید (مقادیر جداول ۱ و ۳ مقادیر بهینه این پارامترها می باشد).

جدول ۳ - مقادیر تابع هدف بازاء تعداد مورچه های مختلف برای ۱۰ بار اجرای برنامه در حالت اول

تعداد مورچه	ماکزیمم مقدار تابع هدف	مینیمم مقدار تابع هدف	میانگین مقدار تابع هدف
۵۰	۱۰/۳۵۹	۹/۰۶۸	۹/۷۲۱
۱۰۰	۹/۵۰۹	۸/۳۶۰	۸/۸۴۲
۱۵۰	۹/۰۲۹	۸/۲۱۳	۸/۵۶۴
۲۰۰	۸/۶۶۹	۸/۱۰۱	۸/۳۸۵

جدول ۴ - مقادیر تابع هدف بازاء تعداد مورچه های مختلف برای ۱۰ بار اجرای برنامه در حالت دوم

تعداد مورچه	ماکزیمم مقدار تابع هدف	مینیمم مقدار تابع هدف	میانگین مقدار تابع هدف
۵۰	۳۱/۹۳۹	۱۰/۸۶۱	۱۶/۷۲۱
۱۰۰	۳۱/۵۷۰	۱۰/۳۸۷	۱۵/۷۰۸
۱۵۰	۲۹/۷۹۳	۹/۸۲۰	۱۳/۳۱۷
۲۰۰	۲۹/۵۴۳	۹/۶۶۸	۱۲/۹۲۳

نتیجه گیری

ازمقایسه نتایج بدست آمده برای هر دو حالت ارائه شده با نتایج بدست آمده از نرم افزار Lingo و روش الگوریتم جامعه مورچگان متوجه می شویم که با بکارگیری این الگوریتم جواب تقریباً مناسبی همراه با هزینه محاسباتی مناسب حاصل شده است. همچنین، ازمقایسه دو حالت ارائه شده برای مسأله فوق متوجه می شویم که در حل مسأله در حالتیکه متغیر تصمیم مقدار آب رها سازی شده از مخزن در هر دوره زمانی میباشد، مقادیر تابع هدف بهینه تر و سرعت همگرایی آن، نسبت به حالتیکه متغیر تصمیم مقدار حجم آب ذخیره شده در مخزن در هر دوره زمانی میباشد، بیشتر می باشد. علت آن هم به این دلیل است که محدوده بازه گسسته سازی شده متغیر تصمیم در حالت دوم از حالت اول بیشتر می باشد (یا بعبارت دیگر فضای جستجوی مسأله بزرگتر می باشد). همچنان که مشاهده شده جواب های حاصل شده تحت تأثیر پارامتر های مختلف الگوریتم می باشد، که برای رسیدن به بهینه ترین جواب باید آنالیز حساسیت برای پارامترهای الگوریتم انجام شود.

- [1]. Colomi A., Dorigo M., Maniezzo V., (1991) Distributed optimization by ant colonies, *In: proceedings of ECAL91-European Conference on Artificial Life*, Elsevier Publishing, pp. 134-142.
- [2]. Dorigo M., (1992) Ant Algorithms solve Difficult Optimization problems, *Artificial Life*, LNAI 2159, Springer-Verlag, and PP. 11-22.
- [3]. Dorigo M., Maniezzo V., Colomi A., (1996) The ant system: Optimization by a Colony of cooperating agents, *IEEE Transaction on systems, Man, Cybernetics – part B*, 26,29 -41.
- [4]. Costa D., and Hertz A., (1997) Ants can color graphs, *J. Operate Res. Soc.*, 48, 295-305.
- [5]. Di Caro G., Dorigo M., (1998) Two ant colony algorithms for best-effort quality of service routing, *Unpublished at ANTS'98-From Ant colonies to Artificial Ants: First International Workshop on Ant Colony Optimization*.
- [6]. Dorigo M., and Gambardella L.M., (1997) Ant Colonies for the traveling salesman problem, *Biosystems*, 43, 73-81.
- [7]. Afshar M.H., (2005) A new transition rule for ant colony optimization algorithms: application to pipe networks optimization problems, *Engineering Optimization*, VOL. 37, and NO. 5, 525-540.
- [8]. Stutzle T., Dorigo M., (2002) A short Convergence Proof for a class of ACO Algorithms, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(4) : 358-365.
- [9]. Stutzle T., Hoss H., (1998) MAX-MIN Ant system and Local search for combinatorial optimization problems. *In s.VOB, S. Martello, I.H. Osman and C. Roucairol, editors, Meta Heuristics: Advances and Trends in local search paradigms for optimization*, pages 137-154, Kluwer, Boston.
- [10]. Stutzle T., Hoos H., (2000) MAX-MIN ant system, *Future Generation Computer Systems*, VOL. 16(8): 889-914.

[۱۱] جلالی، محمدرضا، (۱۳۸۴) "طراحی و بهره برداری بهینه از هیدروسسیستم ها با الگوریتم جامعه مورچه ها یک رهیافت فراکاوشی جدید"، پایان نامه برای دریافت درجه دکترا، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.