

مدیریت بهره برداری از سدهای مخزنی با استفاده از الگوریتم اصلاح شده جستجوی هارمونی

سمیه جنت رستمی^{1*}، مجید خلقی² و امید بزرگ حداد³

تاریخ دریافت: 87/10/24 تاریخ پذیرش: 89/3/9

1- دانشجوی دکتری، مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران.

2 و 3- دانشیار و استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.

* مسئول مکاتبه E:mail: rostami.somaye@gmail.com

چکیده

محدودیت منابع آب‌های سطحی و بروز دوره‌های کم آبی در کشور، ضرورت مدیریت صحیح از مخازن سدها را ایجاب می‌کند. در این راستا در صورتی که در شرایط خاص نتوان برای یک سیستم بهره‌برداری از روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی استفاده کرد، می‌توان از ابزار نوین در بهینه‌سازی به عنوان یک تکنیک کارآمد در مدیریت سدها بهره‌گرفت. در این تحقیق از الگوریتم اصلاح شده جستجوی هارمونی به منظور بهینه‌سازی سیستم مدیریت مخزن سد دز استفاده شد و سپس نتایج حاصل از آن با نتایج بهره‌برداری بهینه به روش غیرخطی مقایسه گردید. این مقایسه نشان می‌دهد با وجود اینکه در روش الگوریتم اصلاح شده جستجوی هارمونی به تعداد زیادی شبیه‌سازی در طول دوره آماری نیاز است ولی این مسئله باعث کاهش سرعت همگرایی نشده و در بسیاری از مواقع جواب‌ها به مراتب بهتر از روش غیرخطی می‌باشد. با توجه به این نتیجه، می‌توان استفاده از این روش را برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم اصلاح شده جستجوی هارمونی، برنامه‌ریزی غیرخطی، بهره‌برداری مخزن، بهینه‌سازی، سد دز

Management of Reservoir Operation System Using Improved Harmony Search Algorithm

S JanatRostami^{1*}, M Kholghi² and Omid Bozorg Haddad³

Received: 13 January 2009 Accepted: 30, November 2010

¹Ph.D Student, Water Engin. Dept., Univ. of Tehran, Iran

^{2,3}Assoc. and Assist Prof, Water Engin. Dept., Univ. of Tehran, Iran

* Corresponding author : E-mail: rostami.somaye@gmail.com

Abstract

Due to severe surface water limitation and extended drought periods in Iran, proper management of dam reservoirs has been considered as a major challenge in recent years. When the classical methods of optimization do not provide efficient and sustainable results, the improved harmony search algorithm (IHS) can be applied. In this research, the proposed method has been used to manage Dez dam reservoir operation. A comparison between IHS and non linear programming (NLP) results show that the IHS reveals no decrease in convergence speed in spite of using a large set of simulation procedure. In most observed cases the responses of IHS were much better than that of NLP. Accordingly, the proposed method can be applied in reservoir operation system with success.

Keyword: Dez dam, Improved harmony Search algorithm, Non linear programming, Optimization, Reservoir operation.

مقدمه

اولیویرا و لاکس (1997)، از الگوریتم ژنتیک برای استخراج منحنی‌های فرمان سیستم چند مخزنی استفاده کردند و آن را به عنوان راهکاری جهت سیاست بهره‌برداری بهینه سیستم مخازن پیشنهاد کردند. کای و همکاران (1384)، الگوریتم ژنتیک را با برنامه‌ریزی خطی ترکیب و در مسائل پیچیده منابع آب استفاده نمودند که نتایج حاصل بسیار رضایت بخش گزارش شده است. چن (2003)، با استفاده از الگوریتم ژنتیک منحنی‌های فرمان بهره‌برداری مخزن را استخراج نموده است. جلالی (1384)، الگوریتم جامعه مورچه‌ها را برای حل مسائل طراحی و بهره‌برداری بهینه هیدروسیتماها به کار گرفت. بزرگ حداد (2005)، از الگوریتم بهینه‌یابی

وجود دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیکی در دهه گذشته و وابستگی مناطقی از کشور به آب سطحی و سیستم مخازن سدها، باعث گردیده است که در اعمال برنامه مدیریتی بهره‌برداری از سدها دقت بیشتری شود تا سدها بتوانند در مواقع بحرانی پاسخگوی نیازها باشند. افزایش پیچیدگی در مسائل مهندسی و نگاه سیستمی به مدیریت به خصوص در مهندسی منابع آب باعث کاهش کارایی روش‌های کلاسیک شده است. در این میان روش‌های فراکاشی و تکاملی (بزرگ حداد 1384)، در دو دهه اخیر به عنوان یک ابزار سودمند در بهینه‌سازی سیستم‌های پیچیده توسعه داده شده‌اند.

ژنتیک، برنامه‌ریزی پویا و برنامه‌ریزی غیرخطی نشان داد که این الگوریتم در مواقعی که استفاده از روش‌های ریاضی متداول مقدور نیست روش مناسبی می‌باشد و نسبت به الگوریتم ژنتیک دقیقتر و سریعتر عمل می‌کند. مهدوی و همکاران (2007) الگوریتم اصلاح شده جستجوی هارمونی (IHS) را پیشنهاد نمودند. آن‌ها با مقایسه نتایج حاصل از کاربرد الگوریتم IHS و HS دریافتند که سرعت همگرایی به مراتب سریعتر، نتایج مقایسات نشان داد که IHS نتایج بهتری را ارائه می‌دهد و سریعتر همگرا می‌شود.

در این مطالعه از الگوریتم اصلاح شده جستجوی هارمونی برای مدیریت بهره‌برداری از مخزن سد در استفاده می‌شود. با توجه به کاربردهای موفق الگوریتم اصلاح شده جستجوی هارمونی در مسائل مختلف بهینه‌سازی و نظر به اهمیت بهینه‌سازی مخزن، هدف از انجام این تحقیق استفاده از الگوریتم IHS در مدیریت بهره‌برداری مخزن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مدل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن به طور کلی مدیریت بهره‌برداری از مخزن دو مرحله می‌باشد، مرحله شبیه‌سازی و مرحله بهینه‌سازی. در مرحله شبیه‌سازی از رابطه پیوستگی بین مقادیر ورودی و خروجی مخزن و میزان ذخیره در مخزن در دوره‌های زمانی مشخص استفاده می‌شود. در رابطه پیوستگی به دلیل ناچیز بودن مقادیر حجم آب نشستی از مخزن سد و حجم بارش روی سطح دریاچه مخزن، نسبت به حجم مخزن، از این پارامترها صرف نظر شده است. اطلاعات ورودی به مدل شامل حجم آورد رودخانه، ارتفاع تبخیر و حجم نیازها به صورت ماهانه می‌باشد. شبیه‌سازی مخزن به حالت مدل استاندارد در این مطالعه به صورت زیر می‌باشد.

جفت‌گیری زنبور عسل در بهینه‌سازی هیدروسیستمها از جمله بهره‌برداری سیستم تک مخزنه استفاده نمود. در سال‌های اخیر گیم و همکاران (2001)، الگوریتم فراکاوشی دیگری به نام جستجوی هارمونی¹ (HS) را توسعه دادند، و از آن در مسائل مختلف مهندسی استفاده کردند. کیم و همکاران (2001) با استفاده از این روش پارامترهای مدل غیرخطی ماسکینگ‌هام را تخمین زدند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که به دلیل اینکه در فرآیند بهینه‌سازی الگوریتم جستجوی هارمونی نیازی به فرض مقادیر اولیه پارامترها نیست، در مقایسه با بعضی از الگوریتم‌های تکاملی از جمله الگوریتم ژنتیک روش مناسبی می‌باشد. گیم (2006) این الگوریتم را در بهینه‌سازی هزینه طراحی شبکه توزیع آب بکار گرفت، شبیه‌سازی هیدرولیکی این مدل با استفاده از نرم افزار EPANET انجام گرفت، با توجه به خروجی‌های مدل (بار فشار) الگوریتم جستجوی هارمونی بهینه‌سازی قطر لوله‌ها را انجام داده است. نتایج مقایسه این الگوریتم با روشهای تکاملی نشان داد که این الگوریتم توانایی رقابت با الگوریتم‌های تکاملی را دارد و با به کار گرفتن الگوریتم جستجوی هارمونی در پنج شبکه آبرسانی نشان داد که این الگوریتم در بهینه‌سازی طراحی شبکه‌های آبرسانی مناسب می‌باشد. گیم (2007) الگوریتم جستجوی هارمونی را در بهینه‌سازی چند هدفه سیستم سدهای چند مخزنه برای دوره یک ساله به کار گرفتند و نتایج این روش را با نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک مقایسه کردند، نتایج نشان دادند که هر دو الگوریتم جواب نزدیک به بهینه سراسری را می‌دهند با این تفاوت که الگوریتم جستجوی هارمونی خیلی سریعتر همگرا شده است. جنت رستمی و همکاران (1387) الگوریتم جستجوی هارمونی را در بهینه‌سازی بهره‌برداری مخزن به کار گرفتند. نتایج مقایسه این الگوریتم با روش‌های الگوریتم

¹ Harmony search algorithm

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{if } S(t) < S \min \rightarrow \text{penalty} = \sum_{t=1}^T \left(\frac{S(t) - S \min}{S \min} \right)^2 + 10 \\ \text{if } S(t) > S \max \rightarrow \text{penalty} = \sum_{t=1}^T \left(\frac{S(t) - S \max}{S \max} \right)^2 + 10 \\ \text{if } S(t) \geq S \min \text{ and } S(t) \leq S \max \rightarrow \text{penalty} = 0 \end{array} \right.$$

$$Sp(t) = \begin{cases} S(t) + Q(t) - S \max & \text{if } S(t) + Q(t) > S \max \\ 0 & \text{if } S(t) + Q(t) < S \max \end{cases}$$

[1]

[6]

Subject to:

$$R \min \leq R(t) \leq R \max \quad [7]$$

$$S \min \leq S(t) \leq S \max \quad [8]$$

که $F(R)$ مقدار تابع هدف (کمبود)، $D(t)$ مقدار نیاز پایین دست در زمان t $D \max$ ماکزیمم نیاز در طول دوره بهره‌برداری و t طول دوره بهره‌برداری، $R \min$ و $R \max$ به ترتیب مقدار حداقل و حداکثر نیاز آبی پایین دست، $S \min$ حداقل حجم مخزن در هر دوره است. $penalty$ میزان جریمه‌ای است که در صورت ارضا نشدن قیود، در تابع هدف اعمال می‌شود.

الگوریتم جستجوی هارمونی

الگوریتم‌های فراکاوشی پیشین از جمله جستجوی ممنوعه¹، نورد شبیه‌سازی شده² و الگوریتم تکاملی³ از پدیده‌های طبیعی و مصنوعی الهام گرفته‌اند، موسیقی هم یک پدیده مصنوعی آرام بخش است که توسط انسان و طبیعت تولید می‌شود، هارمونی در موسیقی اصطلاحاً به اجرای نت‌های متفاوت به صورت همزمان می‌گویند که در نهایت تبدیل به آهنگی موزون و زیبا از نظر شنیداری می‌شود. الگوریتم جستجوی هارمونی به عنوان یکی از روش‌های جدید بهینه‌سازی فراکاوشی که از پدیده موسیقی الهام گرفته، معرفی شده است (گیم 2000). مفاهیم پایه‌ای الگوریتم جستجوی هارمونی برای اولین بار توسط یک فیلسوف یونانی و ریاضیدان معروف، فیثاغورث پیشنهاد شد.

$$S(t+1) = S(t) + Q(t) - Sp(t) - Loss(t) - R(t) \quad [2]$$

$$Loss(t) = A(t) * Ev(t) \quad [3]$$

$$A(t) = a + b * S(t) \quad [4]$$

در مدل فوق $R(t)$ خروجی آب از مخزن در زمان t $S(t)$ حجم مخزن در ابتدای دوره t ، $S(t+1)$ حجم مخزن در انتهای دوره t $Q(t)$ حجم آب ورودی به مخزن؛ $Ev(t)$ ارتفاع تبخیر ماهانه، $Loss(t)$ میزان تلفات که در اینجا به صورت جمع جبری حجم بارندگی و تبخیر از سطح آب در نظر گرفته شده و از سایر عوامل تلفات صرف نظر شده است، $Sp(t)$ مقدار آب سرریز شده از مخزن، $S \max$ حداکثر حجم مخزن در هر دوره، a و b هم ضرایب رابطه سطح و حجم مخزن می‌باشد.

مقدار خروجی و حجم مخزن به ترتیب متغیر تصمیم و حالت می‌باشد. هدف مسئله در بهینه‌سازی، حداقل کردن مجذور شدت کمبودهای کشاورزی در طول دوره بهره‌برداری است. مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن به صورت زیر آورده شده است.

[5]

$$\text{minimize } F(R) = \sum_{t=1}^T \left(\frac{R(t) - D(t)}{D \max} \right)^2 + \text{penalty} \quad t = 1, 2, \dots, T$$

¹ Tabu search

² Simulated annealing

³ Evolutionay algorithm

ساکسافن⁴ و کیبورد⁵ مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ابتدا حافظه، توسط هارمونی‌های تصادفی (Do,Mi,Sol)، (Do,Fa,La)، (Si,Re,Sol) و (Re,Fa,La) پر شده و سپس به وسیله تخمین زیباشناسی هارمونی-ها مرتب شده‌اند.

در این فرآیند در هارمونی جدید از سه ابزار موسیقی استفاده می‌کنند، برای مثال هارمونی (Do,Fa,La) تشکیل شده است از: صدای {Do} از بین صداهای فیدل {Do,Do,Si,Re}، صدای {Fa} که از بین صداهای ساکسافن {Mi,Fa,Re,Fa} و صدای {La} که از بین صداهای کیبورد {Sol,La,Sol,La} انتخاب شده است. هر نقطه در حافظه هارمونی با احتمال مشابه انتخاب می‌شود، برای مثال هر یک از نقاط Fa و Mi و Re یا Fa از صداهای ساکسافن در حافظه با احتمال 25 درصد انتخاب می‌شوند. بعد از ساخت بردار جدید، اگر بردار جدید ساخته شده (Do,Fa,La) بهتر از هر یک از بردارهای موجود در حافظه هارمونی باشد در این صورت هارمونی جدید به جای بدترین هارمونی موجود (در این مثال هارمونی (Re,Fa,La)) وارد حافظه هارمونی می‌شود. این فرآیند تا زمانی که جواب نزدیک به بهینه بدست آید، تکرار می‌شود. معمولاً در این روش ماکزیم تعداد تکرارها را به عنوان شرط توقف در نظر می‌گیرند (گیم 2000).

به طور کلی فرآیند بهینه سازی جستجوی هارمونی در پنج گام خلاصه می‌شود. گام اول: معرفی مسئله بهینه‌سازی و پارامترهای الگوریتم، گام دوم: تولید حافظه هارمونی اولیه، گام سوم: اصلاح هارمونی جدید، گام چهارم: جدید کردن حافظه هارمونی و گام پنجم: بررسی معیار توقف است. هر یک از گام‌ها به طور کامل در زیر شرح داده شده است.

بعدها محققان زیادی در این پدیده تحقیق کردند. جین فلیپ¹ آهنگساز و موسیقی‌دان فرانسوی که در سالهای 1764-1683 می‌زیست، تئوری هارمونی کلاسیک را ثابت کرد (گیم و همکاران 2001). تیرو (1977) موسیقیدان فرانسوی در سال 1977 تاریخچه جاز² را در آمریکا به سندیت در آورد.

در کارهای موسیقی جستجوی بهترین موقعیت (هارمونی خارق العاده) به وسیله تخمین زیباشناسی تعیین می‌شود. معمولاً در الگوریتم های بهینه سازی کلاسیک، بهترین موقعیت (بهینه سراسری، مینیم هزینه و ماکزیم سود یا راندمان) به وسیله ارزیابی توابع هدف تعیین می‌شود، در صورتی که تخمین زیباشناسی به وسیله ارزیابی توابع هدف که از مقادیر ثبت شده مولفه متغیرها بدست می‌آید، انجام می‌گیرد. در موسیقی، به منظور دستیابی به بهترین اجرا هر تمرین با تمرین قبل مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در حالی که در بهینه‌سازی توابع هدف در هر تکرار، نسبت به تکرارهای قبل مقایسه می‌شود.

	Fiddle	Saxophone	Keyboard	Evaluation
Rank 1	Do	Mi	Sol	Best
Rank 2	Do	Fa	La	2 nd Best
Rank 3	Si	Re	Sol	3 rd Best
Rank 4	Re	Fa	La	4 th Best

Harmony Memory

شکل 1- ساختار حافظه هارمونی (گیم 2000)

در شکل 1 ساختار حافظه هارمونی با ترکیبی از سه ساز در یک ارکستر سه نفره متشکل از فیدل³،

¹Jean – Philippe Rameau

²Jazz

³Fiddle

⁴ Saxophone

⁵ Keyboard

گام سوم: اصلاح هارمونی جدید

در این گام با استفاده از سه مکانیزم انتخاب تصادفی، بررسی حافظه و سرعت تنظیم قطعات یک هارمونی جدید به صورت $R^{new} = (R_1^{new}, R_2^{new}, \dots, R_N^{new})$ تولید می‌کنند، البته باید متغیرهای تصمیم تولید شده در این مرحله در محدوده مجاز واقع شوند. HMCR که بین مقدار صفر و یک تغییر می‌کند سرعت انتخاب از مقادیر مرتب شده در حافظه هارمونی است در حالی که $1-HMCR$ سرعت انتخاب تصادفی از محدوده مجاز است.

$$R_i^{new} \leftarrow \begin{cases} R_i^{new} \in \{R_1^1, R_1^2, \dots, R_1^{new}\} & \text{with probability } HMCR \\ R_i^{new} \in R(t) & \text{with probability } (1-HMCR) \end{cases} \quad [10]$$

به عنوان مثال، اگر HMCR برابر 0/85 باشد، الگوریتم با احتمال 85 درصد بردار جدید را از بین بردارهای مرتب شده در حافظه هارمونی انتخاب می‌کند و با احتمال 15 درصد بردار جدید به صورت تصادفی در محدوده مجاز انتخاب می‌کند.

برای هر بردار جدید بدست آمده باید امتحان شود که آیا لازم است تنظیم قطعات بر روی آن انجام شود؟ اگر جواب بله بود با احتمال PAR همسایه‌های بالا و پایین نقطه بدست آمده را مورد بررسی قرار می‌دهند.

$$R_i^{new} \leftarrow R_i^{new} \pm rand() * bw \quad [11]$$

اما اگر جواب منفی باشد، با احتمال $1-PAR$ کاری انجام نمی‌دهد. bw فاصله اختیاری برای پهنای بررسی و $rand()$ اعداد تصادفی بین صفر و یک هستند.

گام چهارم: جدید کردن حافظه هارمونی

اگر هارمونی جدید تولید شده بهتر از بدترین هارمونی موجود در حافظه هارمونی باشد، جایگزین آن

گام اول: معرفی مسئله بهینه سازی و پارامترهای الگوریتم در مدل بهینه سازی این مقاله محدوده مجاز برای هر متغیر تصمیم به صورت $100 \leq R(t) \leq 900$ که 100 و 900 به ترتیب محدوده پایین و بالای هر متغیر تصمیم می‌باشد. در این گام یک سری پارامترهایی مخصوص الگوریتم جستجوی هارمونی از جمله: اندازه حافظه هارمونی¹ (HMS) که تعداد بردارهای جواب را در حافظه هارمونی نشان می‌دهد، سرعت بررسی حافظه هارمونی² (HMCR)، سرعت تنظیم قطعات³ (PAR) و ماکزیمم تعداد تکرارها⁴ (NI) یا شرط توقف وارد می‌شود.

در حافظه هارمونی بعد از بدست آوردن تابع هدف هر یک از هارمونی‌ها، آنها مرتب می‌شوند (چون هدف مینیمم کردن است، هارمونی از کوچک به بزرگ مرتب می‌شود). HMCR و PAR پارامترهایی هستند که در بهتر کردن بردار جواب استفاده می‌شوند.

گام دوم: تولید حافظه هارمونی اولیه

در گام دوم به صورت تصادفی از محدوده مقادیر ممکن متغیر تصمیم، یک حافظه هارمونی به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$HM = \begin{bmatrix} R_1^1 & R_2^1 & \mathbf{L} & R_N^1 & F(R^1) \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{L} & \mathbf{L} & \mathbf{M} \\ R_1^{HMS-1} & R_2^{HMS-1} & \mathbf{L} & R_N^{HMS-1} & F(R^{HMS-1}) \\ R_1^{HMS} & R_2^{HMS} & \mathbf{L} & R_N^{HMS} & F(R^{HMS}) \end{bmatrix} \quad [9]$$

که $F(R^1)$ مقدار تابع هدف بدست آمده به ازای بردار اول و HM ماتریس حافظه هارمونی است.

¹ Harmony search size

² Harmony memory considering rate

³ Pitch adjusting rate

⁴ Number of improvisations

اصلاح الگوریتم HS و از بین بردن این مانع به جای استفاده از مقادیر ثابت این متغیرها، آن‌ها را به صورت متغیر و وابسته به تکرار در نظر می‌گیرند. در واقع تفاوت اصلی روش HS و IHS در پارامترهای PAR و bw است. روابط این اصلاحات به صورت زیر آورده شده است:

$$PAR(gn) = PAR_{min} + \frac{(PAR_{max} - PAR_{min})}{NI} * gn \quad [12]$$

که $PAR(gn)$ سرعت تنظیم قطعات در هر تکرار، PAR_{min} مینیمم سرعت تنظیم قطعات، PAR_{max} ماکزیمم سرعت تنظیم قطعات، NI ماکزیمم تکرار در نظر گرفته شده در معیار توقف و gn شماره تکرار است.

$$bw(gn) = bw_{max} \exp(c * gn) \quad [13]$$

$$c = \frac{\ln\left(\frac{bw_{min}}{bw_{max}}\right)}{NI} \quad [14]$$

که $bw(gn)$ پهنای باند در هر تکرار، bw_{min} مینیمم پهنای باند و bw_{max} ماکزیمم پهنای باند است.

مطالعه موردی

در این تحقیق از آمار و داده‌های 10 ساله (2000-1990) سد مخزنی دز واقع در استان خوزستان استفاده شده است. این سد مخزنی در فاصله 25 کیلومتری شمال دزفول بر روی رودخانه دز قرار دارد (شکل 2).

در حافظه می‌شود و به این ترتیب هارمونی بدتر از حافظه خارج می‌شود. اما اگر هارمونی جدید بهتر از بدترین هارمونی موجود در حافظه باشد در این صورت بدون هیچ جایگزینی الگوریتم وارد تکرار بعدی می‌شود.

گام پنجم: بررسی معیار توقف

گام سوم و چهارم آنقدر تکرار می‌شود تا شرط توقف ارضا شود. به این ترتیب آخرین بردار بدست آمده در الگوریتم جواب مسئله است. بدیهی است که در هر مسئله بهینه سازی مقدار پارامترهای HMCR ، HMS ، PAR ، bw و تعداد ماکزیمم تکرارها متفاوت خواهد بود، همچنین تعیین دقیق آن‌ها تاثیر زیادی بر روی همگرایی الگوریتم دارد لذا لازم است در هر مسئله بهینه سازی بر روی این پارامترها آنالیز حساسیت انجام گیرد. معمولاً مقدار HMCR را در محدوده 0/90-0/99 در نظر می‌گیرند، اما در بیشتر مسائل با 0/95 مقدار بهینه بدست می‌آید. اندازه حافظه هارمونی HMS در محدوده 5-50 در نظر می‌گیرند، این پارامتر به تعداد متغیرهای تصمیم وابسته است، هرچه اندازه حافظه هارمونی بزرگتر باشد مسئله از نظر ابعادی بزرگ می‌شود بنابراین بیشتر سعی می‌کنند این پارامتر کوچکتر انتخاب شود. احتمال بررسی تنظیم قطعات PAR را معمولاً بین 0/3-0/99 در نظر می‌گیرند، البته با توجه به مسئله مورد نظر ممکن است کمتر از این محدوده را هم در نظر بگیرند (مهدوی و همکاران 2007).

الگوریتم اصلاح شده جستجوی هارمونی

PAR و bw در الگوریتم HS، پارامترهای مهمی در میزان سازی دقیق بردارهای جواب بهینه و تنظیم سرعت همگرایی الگوریتم هستند. این دو پارامتر در الگوریتم HS به صورت عدد ثابت استفاده می‌شود و در طول تکرارهای جدیدتر تغییر نمی‌کند، این یک مانع بزرگی است که در الگوریتم HS ظاهر می‌شود. برای

بر اساس گزارشات سازمان آب و برق خوزستان رابطه سطح و حجم مخزن به صورت خطی می‌باشد، و ضرایب مربوط به رابطه خطی محاسبه سطح آب موجود در مخزن به صورت رابطه شماره 15 در نظر گرفته شده است.

$$A(t) = 11.291 + 0.0157 * S(t) \quad [15]$$

یکی از مصرف کنندگان عمده پایین دست سد دز شرکت بهره برداری از شبکه های آبیاری می‌باشد. متوسط ماهیانه نیاز کشاورزی پایین دست این سد در جدول 2 آورده شده است.

جدول 2- مقادیر ماهانه نیاز کشاورزی

ماه	نیاز کشاورزی (میلیون مترمکعب)
فروردین	516,4
اردیبهشت	603,7
خرداد	757,2
تیر	831,1
مرداد	818,8
شهریور	706
مهر	467,6
آبان	318
آذر	163
دی	150,1
بهمن	203
اسفند	356,6

نتایج و بحث

با توجه به اینکه متغیرهای تصمیم در این تحقیق پیوسته می‌باشد، یکی از جایگزینهای مناسب روشهای فراکاشی، مدل‌های برنامه ریزی خطی (LP) و یا مدل‌های برنامه ریزی غیرخطی (NLP) می‌باشند. با توجه به وجود تابع هدف غیرخطی در مسئله موجود، امکان حل این مسئله با الگوریتم اصلاح شده جستجوی هارمونی (IHS) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به محدوده جواب محذب در این مسئله مدل NLP در



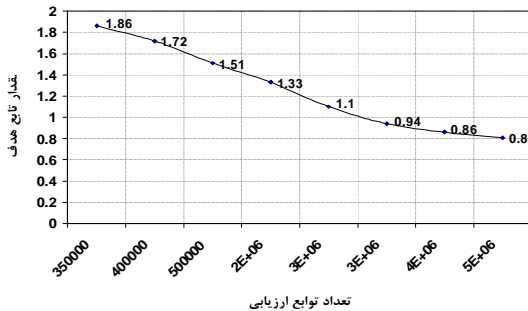
شکل 2- موقعیت جغرافیایی سد دز

از نظر آب و هوایی منطقه‌ی مورد مطالعه تحت تاثیر جریان‌ات مدیترانه‌ای، مرکز پر فشار جنب حاره و سیبری قرار دارد. ساختمان این سد در بهمن 1336 آغاز و در آذر 1341 تکمیل و آبیگری مخزن شروع گردید. سد دز از نوع بتنی دوقوسی با جدار نازک می‌باشد و به منظور تولید انرژی برقابی، تامین آب شرب، صنعت، کشاورزی و کنترل سیلاب طراحی و اجرا گردید. مشخصات فیزیکی سد در جدول 1 آورده شده است.

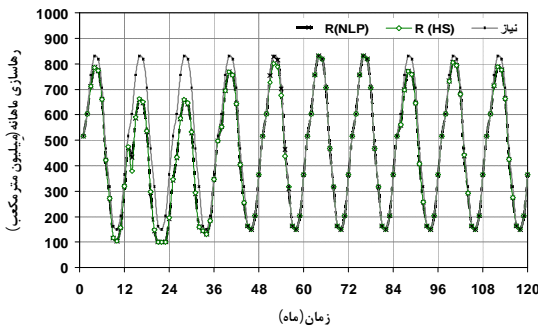
جدول 1- مشخصات فیزیکی سد دز

ارتفاع از پی	203 متر
طول تاج	212 متر
عرض تاج	4/5 متر
حجم اولیه مخزن	1430 میلیون مترمکعب
حجم کل مخزن در تراز حداکثر	3340 میلیون متر مکعب
وسعت مخزن در رقوم حداکثر	65 کیلومترمربع
طول مخزن در رقوم حداکثر	64/9 کیلومتر
حجم کل مخزن در تراز حداقل	831/1 میلیون متر مکعب
حداکثر ظرفیت تخلیه سرریزها	6000 مترمکعب در ثانیه
متوسط دبی ورودی	250/9 مترمکعب در ثانیه
نوع سرریز	قطاعی دریچه دار
تعداد سرریز	2 عدد

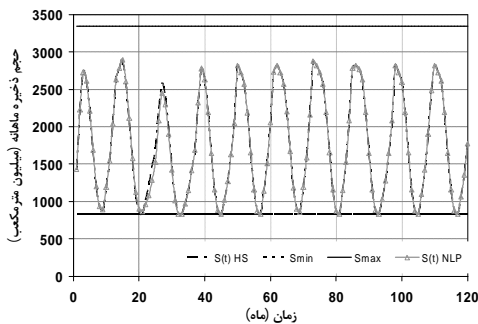
در ادامه نتایج براساس الگوریتم جستجوی هارمونی آورده شده است. در اشکال 3، 4 و 5 به ترتیب میزان تغییرات تابع هدف بر حسب تعداد توابع ارزیابی، مقدار رهاسازی ماهانه و میزان ذخیره ماهانه در ابتدای هر دوره ارائه گردیده است.



شکل 3- تغییرات تابع هدف با تعداد توابع ارزیابی متفاوت در بهترین ده اجرا



شکل 4- تغییرات میزان رهاسازی از مخزن در هر پرورد زمانی



شکل 5- تغییرات حجم ذخیره مخزن در هر دوره زمانی

بهینه سازی بسیار کارآمد عمل می نماید و به جواب های بهینه قطعی همگرا می شود که می تواند به عنوان معیار مناسبی جهت تحلیل عملکرد الگوریتم مورد بحث قرار گیرد. لازم به توضیح است که مقدار جواب بهینه حاصل از حل این مسئله با روش NLP و توسط نرم افزار LINGO 8.0 نتوانست به جواب بهینه سراسری دست یابد و بعد از یک اجرای طولانی برنامه را قطع کرده و جواب محلی 0/84 حاصل گردیده است. با کاربرد الگوریتم IHS در این مسئله پس از 5000000 بار ارزیابی تابع هدف مقدار تابع هدف برابر با 0/81 بدست آمده است. نتایج نشان می دهد که تابع هدف در روش IHS کمتر از روش بهینه سازی NLP شده است. زمان اجرای برنامه در الگوریتم IHS برای 1000000 تکرار و 120 متغیر تصمیم قطعاً به مراتب بیشتر از زمان بکارگیری مدل NLP است.

مقدار بهینه پارامترهای الگوریتم بعد از تحلیل حساسیت به صورت جدول 3 ارائه می شود.

جدول 3- مقدار مطلوب پارامترهای مورد نیاز برای الگوریتم

بهینه سازی IHS

HM	HMC	PAR _{mi}	PAR _{ma}	bw _{mi}	bw _{ma}
S	R	n	x	n	x
5	0/95	0/001	0/99	1	100

این مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شرایط یکسان با الگوریتم IHS از لحاظ تعداد توابع ارزیابی (500=تعداد نسل، 10000=جمعیت) اجرا گردید و بهترین مقدار تابع هدف مسئله مورد نظر بعد از 10 اجرا 0/816 بدست آمد، و مدت زمان اجرای برنامه تقریباً با الگوریتم IHS یکسان بوده است. نتایج بدست آمده از الگوریتم ژنتیک نشان می دهد که الگوریتم اصلاح شده جستجوی هارمونی قابلیت رقابت با سایر الگوریتم های فراکاوشی را دارد.

کمبودهای کشاورزی توسط الگوریتم بهینه سازی اصلاح شده جستجوی هارمونی استخراج و نتایج حاصل با روش بهینه سازی غیرخطی مقایسه شده است. مقایسه نتایج حاصل از دو روش نشان دهنده قابلیت الگوریتم اصلاح شده جستجوی هارمونی می باشد. به طوریکه در مقایسه با روش بهینه سازی غیرخطی، جواب های حاصل از الگوریتم IHS برتری داشته است. با توجه به اینکه روش های بهینه سازی غیرخطی سعی در یافتن جواب بهینه مطلق دارند، الگوریتم های فراکاوشی در بسیاری از موارد دارای نتایج بهینه مناسب تری هستند. همچنین مقایسه این الگوریتم با الگوریتم ژنتیک نشان داد که الگوریتم IHS قابلیت رقابت با هر یک از روش های فراکاوشی را دارد. تقریباً همه روش های فراکاوشی به تغییر پارامترهای مورد استفاده در آنها حساس بوده و می توان با انجام تحلیل حساسیت میزان تاثیر هر یک از پارامترها را در جواب بهینه بررسی کرد. در این الگوریتم با افزایش پارامتر HMS ابعاد الگوریتم بزرگ شده و حجم محاسبات با توجه تعداد زیاد متغیرهای تصمیم بسیار بالا می رود. PAR و bw، پارامترهای مهمی در میزان سازی دقیق بردارهای جواب بهینه و تنظیم سرعت همگرایی الگوریتم هستند، تحلیل حساسیت بر روی HMCR نشان داد که مقادیر بزرگ این پارامتر سبب همگرایی سریعتر این الگوریتم می شود و همچنین تعداد تکرارها نیز می تواند در جواب بهینه نهایی موثر باشد ولی افزایش بیش از حد آن باعث طولانی شدن اجرای برنامه می شود. با توجه به نتایج رضایت بخش این مطالعه، می توان این الگوریتم را در مطالعات بهینه سازی بهره برداری مخازن با توابع هدف پیچیده و چند هدفه که استفاده از روش های ریاضی مبتنی بر گرادیان از لحاظ زمانی مقدور نیست، به کار برد.

همان طور که در شکل ملاحظه می شود تغییرات حجم مخزن در طول دوره آماری در هر دو روش بین حداکثر و حداقل حجم مخزن قرار دارد. حجم مخزن از نظر فیزیکی ثابت است آنچه که تغییر می کند حجم ذخیره مخزن در هر ماه است. تغییرات منحنی مربوط به روش IHS بسیار نزدیک به روش NLP است و روند آن در طول دوره بهره برداری کاملاً منطقی است. باید توجه داشت که روش های حل بهینه سازی غیرخطی (NLP) بر پایه گرادیان، با شروع محاسبات از یک نقطه فرضی و با محاسبه گرادیان موجود در نقطه ابتدایی و نقاط مجاور آن به سمت جواب بهینه حرکت می کند و با ارضا شدن شرایط مسئله متوقف می شود به این ترتیب جواب حاصل به عنوان بهینه موضعی ارائه می گردد. روش های حل بر پایه گرادیان در حل مسائل بزرگ دچار مشکل می گردد و جواب بهینه موضعی را ارائه می دهد، در این روش ها دستیابی به جواب موضعی به انتخاب شرایط اولیه وابسته می باشد، با انتخاب شرایط اولیه متفاوت، احتمال دارد که جواب های بهینه متفاوتی حاصل شود. در حالی که الگوریتم های HS و IHS نسبت به روش های ریاضی دارای مزایای زیر می باشد:

- 1- نیاز به محاسبات پیچیده و مشتق گیری ندارد.
- 2- به مجموعه جواب اولیه متغیرهای تصمیم برای شروع محاسبات نیاز ندارد، این خاصیت امکان فرار الگوریتم از بهینه موضعی را فراهم می کند.
- 3- امکان بهینه سازی متغیرهای پیوسته و گسسته را دارد، در حالی که روش های ریاضی فقط برای متغیرهای پیوسته به کار می رود.

نتیجه گیری

در این تحقیق برنامه بهره برداری بهینه از مخزن سد دز با تابع هدف حداقل کردن مجذور شدت

منابع مورد استفاده

- بزرگ حداد، ا. 1384. بهینه‌سازی هیدروسیستم‌ها با استفاده از الگوریتم بهینه‌یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)، رساله دکتری، دانشگاه علم و صنعت - دانشکده عمران.
- جلالی، م.ر. 1384. بهینه‌سازی هیدروسیستم‌ها با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان، رساله دکتری، دانشگاه علم و صنعت - دانشکده عمران.
- جنت رستمی، س.، بزرگ حداد، ا. و خلقی، م. 1387، ارزیابی الگوریتم جستجوی هارمونی در بهینه سازی بهره برداری مخزن، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- Cai X, Mckinney DC and Lasdon LS, 2001. Solving nonlinear water management models using a combined genetic algorithm and linear programming approach. *Journal of Advances in Water Resources*, 24: 667-676.
- Chen L, 2003. Real coded genetic algorithm optimization of long term reservoir operation. *Journal of the American Water Resources Association* 39(5): 1157-1165.
- Geem ZW, 2007. Optimal scheduling of multiple dam seystem using harmony search algorithm. *Lecture Notes in Computer Science*, 4507: 316-323.
- Geem ZW, 2006. Improved harmony search from ensemble of music players. *Lecture notes in Artificial Intelligence* 4251: 86-93.
- Geem ZW, 2006. Optimal cost design of water distribution networks using harmony search. *Engineering Optimization* 38: 259-280.
- Geem ZW, 2000. Optimal design of water distribution networks using harmony search. PhD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Korea University.
- Geem ZW, Kim JH and Loganathan GV, 2001. A new heuristic optimization algorithm. *Harmony Search Simulation*, 762: 60-68.
- Keem JH, Geem ZW and Kim ES, 2001. Parameters estimation of the nonlinear Muskingum model using harmony search. *Journal of American Water Resources Association* 5: 1131- 1138.
- Mahdavi M, Fesanghary M and Damangir E, 2007. An improved harmony search algorithm for solving optimization problems. *Applied Mathematics and Computation* 188: 1567-1579.
- Oliveira R, Loucks DP, 1997. Operating rules for multireservoir systems. *Journal of Water Resources Management* 334: 839-852.
- Tirro F, 1977. *Jazz: A History*. WW Norton and Company, New York.