

## تدوین منحنی‌های فرمان بهره‌برداری مخزن دو سد بوکان و مه‌آباد با الگوریتم PSO

حمید زارع ایبانه<sup>۱\*</sup>، بهاره عبدالله زاده<sup>۲</sup>، سحر پلنگی<sup>۳</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۴/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۴

### چکیده

در این مطالعه، از الگوریتم بهینه‌سازی PSO برای استخراج منحنی فرمان بهره‌برداری مخزن دو سد بوکان و مه‌آباد، با هدف تامین نیازهای شرب، کشاورزی و محیط‌زیست استفاده گردید. برای تبیین رفتار حاکم بر مخزن هر دو سد، دو معادله خطی درجه یک و غیرخطی درجه دو در اجرای الگوریتم PSO به کار گرفته شد. بهترین جواب در اجرای هشتم با ۱۰ ذره و ۱۵۰۰۰ تکرار برای سد بوکان از مدل خطی درجه یک با حداقل مقدار تابع هدف ۱۳۸/۴ حاصل شد. به همین ترتیب برای سد مه‌آباد با ۱۰ ذره و ۷۰۰۰۰ تکرار و اعمال مدل غیرخطی درجه ۲ در اجرای سوم با مقدار تابع هدف ۷۴۹/۷ به عنوان مدل بهینه به دست آمد. نتایج نشان داد مجموع میانگین درازمدت آب ورودی طی دوره‌های تر و خشک به مخزن سد بوکان ۱۵۰۶ و سد مه‌آباد ۲۶۹/۳ میلیون مترمکعب بود. از طرفی در سد بوکان طی دوره خشک کمبودهای آب کشاورزی و محیط زیست طی ماه‌های مهر تا شهریور به ترتیب ۱۷/۸، ۴۵/۴۸، ۶۵/۰، ۵۱/۹، ۵۱/۰۹، ۴۴/۰۸ و ۵۵/۲ و در ماه‌های فروردین تا شهریور ۲۶/۲۲، ۱۸/۲۵، ۱۹/۲۴، ۲۰/۷۹، ۲۴/۹۲ و ۱۴/۸۶ درصد کمبود آب وجود داشت. بدین ترتیب حجم رهاسازی آب در سال‌های خشک و نرمال برای اهداف شرب کامل و برای اهداف کشاورزی و محیط زیست کمتر از نیاز بود. از طرفی بیشینه کمبود در دوره نرمال برای سد بوکان ۵۷ درصد در ماه تیر و در سد مه‌آباد ۴۰ درصد در ماه مهر بود. در مجموع می‌توان چنین اظهار داشت که بخشی از کمبودهای کشاورزی و محیط زیست ناشی از کمبود جریان ورودی به پشت دریاچه سدها و بخشی ناشی از تامین کامل نیازهای شرب است. در حالی که در سال تر به واسطه زیاد بودن جریان ورودی به دریاچه سدها همه بخش‌ها در کلیه ماه‌ها از آب کافی برخوردار بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی دسته ذرات، جامعه ذرات، رفتار جمعی، حرکت پرندگان و ماهیان.

<sup>۱</sup> دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا، همدان، \* نویسنده مسئول، آدرس الکترونیکی: zareabyaneh@gmail.com

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

## مقدمه

رفتار اجتماعی گونه‌های مختلف جانداران شباهت دارد. روش بهینه‌ساز دسته ذرات<sup>4</sup> (PSO) از جمله روش‌های بهینه‌ساز تکاملی مورد توجه در بهره‌برداری از سدها در دو دهه اخیر بوده است. این روش اولین بار توسط Kennedy and Eberhart. (1995) براساس شبیه‌سازی رفتار جمعی حرکت پرندگان و ماهیان پیشنهاد گردید. در این روش هر ذره به صورت یک پرده در دسته‌ی پرندگان، به عنوان یک نقطه از فضای جواب مسئله است. حرکت هر ذره در دو جهت یعنی بهترین موقعیت اختیاری توسط خود ذره (pbest) و بهترین موقعیت اختیاری در بین همه ذرات (gbest) صورت می‌گیرد. هر ذره در فرآیند پاسخ‌یابی دارای یک بردار سرعت  $V_i = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{id})^T$  در فضای D بعدی است که براساس آن در فضای جستجو حرکت می‌کند.

Reddy and Kumar. (2007) از روش PSO در بهینه‌سازی مخازن چندمنظوره استفاده نمودند و ثابت کردند که این روش، روش مفید و مناسب برای مدیریت مخازن آب است. Baltar and Fontane. (2008) استفاده از الگوریتم PSO چندمنظوره جهت بهینه‌سازی مخازن سدها را در مقایسه با دیگر روش‌های تکاملی نظیر الگوریتم‌های غیر خطی ساده تر و مناسب تر ارزیابی کردند. Cyriac and Rastogi. (2013) استفاده از الگوریتم PSO در بهینه‌سازی مخازن سد ها را موفقیت آمیز دانسته اند. Suribabu et al. (2008) با اجرای الگوریتم PSO بر روی یک شبکه تحت فشار آب نشان دادند الگوریتم PSO از نظر سرعت همگرایی و یافتن پاسخ بهینه نسبت به دو الگوریتم SA و الگوریتم GA برتری دارد. معراجی و همکاران (۱۳۸۵) به کمک یک مدل ریاضی بنا نهاده شده بر اساس هزینه‌های اولیه پروژه، هزینه‌های ناشی از شکست، میزان کل ریسک یک سیستم انحراف آب و ابعاد بهینه سیستم را با استفاده از الگوریتم فراکوشی PSO، تعیین کردند. فلاح‌پور و همکاران (۱۳۸۷) با اجرای الگوریتم PSO و برنامه‌ریزی غیرخطی<sup>5</sup> (NLP) بر روی مخزن سد دز و استخراج منحنی فرمان بهره‌برداری با هدف کشاورزی، کارآمدی الگوریتم PSO در

میزان آبدهی رودخانه‌ها به عنوان اصلی‌ترین منابع آب سطحی، از نظر زمانی با مقدار نیازها هم‌خوانی ندارد. جهت استفاده مناسب و کاهش ریسک، ایجاد سدهای مخزنی، به عنوان مخازن ذخیره آب اجتناب‌ناپذیر است. امروزه با رشد قابلیت‌های نرم‌افزاری و توسعه مدل‌های رایانه‌ای، امکان شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تأثیر سازه‌هایی مانند سدها در مدیریت ذخیره و توزیع آب به گونه‌ای است که کم‌ترین مشکلات در حال و آینده به وجود آید. مسایل مورد توجه در مدیریت منابع آب عموماً از متغیرهای تصمیم‌زیادی برخوردار است. بدین ترتیب بهینه‌سازی توابع هدف خطی و غیرخطی از روش‌های تکاملی چندگانه به عنوان یک راه حل پیشنهادی است. برای بهره‌برداری از یک مخزن، اهداف متفاوتی، نظیر تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت، تولید انرژی، کنترل سیلاب و ایجاد شرایط تفرجگاهی مطرح می‌باشد که با تعریف تابع هدف بهره‌برداری بهینه از مخزن به کمک مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی چندهدفه می‌توان به اهداف فوق دست یافت.

در سه دهه اخیر، الگوریتم‌های مختلفی جهت دست‌یابی به عملکرد بهتر، در بهره‌برداری از سدهای مخزنی توسعه یافته است (Blum and Roli., 2003). از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان به کاربرد موفق الگوریتم نورد شبیه‌سازی شده<sup>1</sup> (SA)، الگوریتم ژنتیک<sup>2</sup> (GA) و شبکه عصبی مصنوعی<sup>3</sup> (ANN) در مسائل پیچیده مهندسی اشاره کرد. الگوریتم SA اولین بار توسط Metropolis et al. (1953) در مکانیک آماری مطرح گردید. Ritzel et al. (1994) از الگوریتم GA برای بهینه‌سازی چندهدفه آلودگی آب زیرزمینی استفاده کردند. Wardlaw and Sharif. (1999) حالت‌های مختلف الگوریتم ژنتیک را برای بهره‌برداری مخازن در مقایسه با مقادیر واقعی آزمودند.

الگوریتم‌های تکاملی، روش‌های جستجوی تصادفی هستند که جواب بهینه در آن‌ها به تکامل بیولوژیکی یا

<sup>4</sup> Particle Swarm Optimization

<sup>5</sup> Non Linear Programming

<sup>1</sup> Simulated Annealing

<sup>2</sup> Genetic Algorithm

<sup>3</sup> Artificial Neural Network

هدف اصلی از حل مسائل چندهدفه، بدست آوردن مجموعه جواب‌هایی است که امکان انتخاب گزینه مناسب را به تصمیم‌گیرنده می‌دهد. تحقیقات انجام‌شده حاکی از به‌کارگیری روش‌هایی است که تنها به یک جواب بهینه می‌انجامد. بدین منظور استفاده از روش‌های فراکوشی که به ارائه مجموعه جواب‌های بهینه می‌انجامد، پیشنهاد می‌گردد. در اکثر پژوهش‌های صورت گرفته از تابع هدف خطی که حاصل اختلاف مقدار رهاسازی از مخزن با نیازهای پایین دست در بخش کشاورزی بهره گرفته شده است. در این تحقیق سعی گردید تا با کمینه‌سازی تابع هدف نسبی تعریف شده براساس اختلاف میزان رهاسازی ماهانه با نیاز پایین دست نسبت به حداکثر نیاز ماهانه در حالت چندهدفه یعنی تامین نیاز هم‌زمان سه بخش کشاورزی، شرب و محیط زیست، بهینه‌سازی صورت گیرد. به علاوه به کارگیری مدل غیرخطی چندجمله‌ای درجه ۲ برای توصیف رفتار مخزن در تامین نیازهای پایین دست با تعداد متغیر تصمیم بیشتر در مقایسه با مدل خطی درجه یک براساس حداکثرسازی نفع بهره‌برداری برای سه دوره‌های اقلیمی خشک، تر و نرمال از دیگر ویژگی‌های این پژوهش برای مدل‌سازی مخازن دو سد بوکان و مهاباد به روش PSO می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه با افق دید برنامه‌ریزی یک‌ساله برای دوره‌های ماهانه اجرا شد. هدف مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری بهینه از سدهای چند-منظوره مهاباد و بوکان براساس حداکثرسازی تخصیص آب شرب، آب کشاورزی و محیط زیست است. سد مخزنی بوکان با حجم مخزن ۶۵۰ میلیون- مترمکعب، ارتفاع ۵۰ متر، طول تاج ۷۲ متر و دبی سیلاب طرح ۴۳۰۰ مترمکعب در ثانیه، از نوع خاکی با هسته رسی بر روی رودخانه زرينه‌رود در طول جغرافیایی ۴۵°، ۴۵' تا ۴۷°، ۱۵' طول شرقی و عرض شمالی ۳۰°، ۳۵' تا ۳۶°، ۴۵'، در جنوب شرق دریاچه ارومیه واقع است. این سد به‌منظور تأمین آب کشاورزی دشت میاندوآب و کنترل سیلاب رودخانه زرينه‌رود احداث شد. در حال حاضر علاوه بر تأمین تقاضاهای مذکور، وظیفه

رسیدن به جواب‌های بهینه را به اثبات رساندند. بهره-برداری بهینه از سد سفیدرود با دو هدف تأمین ۱۰۰، ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز پایین‌دست و تخلیه رسوب با استفاده از الگوریتم PSO مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در ۷۳ درصد مواقع نیاز آبی پایین دست به‌طور کامل تأمین می‌شود و در چنین شرایطی میزان متوسط رسوب خروجی در ماه‌هایی که عملیات شستشو مجاز است معادل ۱۸/۲ تن در ثانیه است (آزادینیا و زهرایی، ۱۳۸۹). Izquierdo et al.(2008) و Montalvo et al.(2008) از الگوریتم PSO در مقابل روش برنامه‌ریزی دینامیک در طراحی بهینه شبکه جمع‌آوری فاضلاب و شبکه توزیع آب، شهر هانوی و تونل تأمین آب شهر نیویورک در مقایسه با نسبت به الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. منعم و نوری (۱۳۸۹) الگوریتم PSO را برای توزیع و تحویل بهینه آب در کانال آبیاری amx از شبکه آبیاری ورامین با ۱۱ آبگیر به هدف حداقل‌سازی ظرفیت کانال و حداکثرسازی به‌کار بردند. نتایج آنان نشان داد ظرفیت کانال ۱/۶۴ مترمکعب در ثانیه است که در مقایسه با روش SA، ۳۲۰ لیتر در ثانیه کمتر است. Baltar and Fontane.(2006) توانایی الگوریتم PSO، در بهینه‌سازی بهره‌برداری چندهدفه از مخزن سد و در گزارشی دیگر در سال ۲۰۰۶، بهینه‌سازی چندهدفه براساس حداقل انحراف پارامترهای دما، اکسیژن محلول، کل باقی‌مانده خشک و پی‌اچ آب از مقادیر استاندارد توصیه شده را گزارش نمودند. امامی تبریزی و همکاران (۱۳۹۰) از مدل شبیه‌سازی بهینه‌سازی با تلفیق مدل MODSIM و الگوریتم PSO در شبیه‌سازی سیستم‌های چندمخزنه برقایی خراسان استفاده کردند و نشان دادند که مدل ترکیبی MODSIM-PSO از قابلیت مناسبی در طراحی و بهره‌برداری بهینه برخوردار است. Montalvo et al.(2008) با به‌کارگیری الگوریتم PSO، در بهینه‌سازی شبکه جمع‌آوری فاضلاب، سرعت عمل این الگوریتم در رسیدن به جواب بهینه در تکرار کمتر را از نقاط قوت آن دانستند. Kumar and Reddy (2007) با استفاده از الگوریتم PSO در ترکیب با استراتژی جهشی EMPPO با بهره‌گیری از تکنیک وزن دهی مسئله بهره‌برداری مخزن با اهداف کشاورزی و تولید انرژی برقایی را مورد بررسی و نتایج را قابل قبول دانستند.

از آنجایی که الگوریتم PSO دارای مشکل همگرایی زودرس است لذا سعی شد علاوه بر مدل خطی درجه یک حاکم بر مخزن سد، مدل غیرخطی درجه دو نیز جهت غلبه بر جواب‌های بهینه محلی و همگرایی زودرس به کار گرفته استفاده شود. جهت استخراج حالت بهینه بهره برداری از مخزن، روابط بین جریان ورودی، حجم ذخیره مخزن و میزان رهاسازی هر دوره به صورت پارامتریک تعریف شد. این روابط که بیانگر وابستگی رهاسازی به عوامل مختلف است که به دو شکل مدل خطی درجه یک و مدل درجه ۲ در نظر گرفته شد:

$$R_t = f_1(S_t, I_t) = a_t S_t + b_t I_t + c_t \quad (5)$$

$$R_t = f_2(S_t, I_t) = a_t S_t^2 + b_t I_t^2 + c_t S_t + d_t I_t + e_t \quad (6)$$

که در آن  $f_1$  و  $f_2$  به ترتیب توابع خطی درجه ۱ و غیرخطی درجه ۲،  $I_t$  مقدار جریان ورودی،  $R_t$  میزان رهاسازی از مخزن در دوره  $t$ ،  $S_t$  حجم ذخیره مخزن در دوره  $t$  و  $a, b, c, d, e, f, g$  پارامترهای قوانین بهره برداری می‌باشند. از آنجایی که در پژوهش حاضر گام زمانی ماهانه می‌باشد لذا تعداد متغیرهای تصمیم در مدل خطی درجه یک و در گام زمانی ماهانه ۳۶ متغیر و در مدل خطی درجه دو و گام زمانی ماهانه، ۶۰ متغیر محاسبه می‌گردد.

مقدار جریان ورودی به مخزن سد براساس انتخاب سال‌های خشک، تر و نرمال مطابق شاخص طبقه‌بندی آبدی (رابطه ۷) تعیین شد. این شاخص بر مبنای تفاضل دبی هر سال آماری ( $Q_y$ ) از میانگین درازمدت آن ( $\bar{Q}_y$ ) نسبت به انحراف معیار ( $S_y$ ) است.

$$q_y = \frac{Q_y - \bar{Q}_y}{S_y} \quad (7)$$

در شاخص فوق مقادیر  $-0.5 \leq q_y \leq 1$  به عنوان سال خشک، مقادیر  $0.5 \leq q_y \leq 1$  به عنوان سال تر و مقادیر  $-0.5 \leq q_y \leq 0.5$  به عنوان سال (های) نرمال می‌باشد.

برای استخراج منحنی‌های فرمان، ابتدا میزان جریان ورودی به مخزن سد تعیین و سپس با اعمال روابط بالا توسط الگوریتم PSO در نرم‌افزار برنامه‌نویسی MATLAB مدلی با کمترین مقدار تابع هدف به دست

تأمین آب شرب شهرهای تبریز، سقز، آب کشاورزی دشت رحیم‌خان و دیگر مناطق را دارد. به همین ترتیب، سد مخزنی مهاباد با حجم مخزن ۲۲۳ میلیون مترمکعب، ارتفاع ۴۶/۵ متر، طول تاج ۷۰۰ متر، از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی بر روی رودخانه مهاباد در طول جغرافیایی ۴۳°، ۴۵' طول شرقی و عرض ۴۶°، ۳۶' شمالی در جنوب شهر ارومیه قرار دارد. این سد نیز با هدف کنترل سیلاب رودخانه مهاباد، تأمین آب شرب شهر مهاباد، آب کشاورزی منطقه و تأمین بخشی از نیروی برق آبی کشور طراحی و احداث گردید.

در این مطالعه برای تحلیل سیستم ذخیره‌ای مخازن سدها و تبیین رفتار درون‌سالی آن‌ها، از داده‌های ۴۹ ساله میانگین جریان ماهیانه رودخانه بوکان طی سال‌های ۸۳-۱۳۳۵ و داده‌های ۴۷ ساله میانگین جریان ماهیانه رودخانه مهاباد طی سال‌های ۸۱-۱۳۳۵ استفاده گردید. برای تأمین بهینه نیاز آبی هر سد از حداقل مجموع مجذور تفاضل میزان رهاسازی از میزان نیازپایین دست طی دوره زمانی مورد نظر در قالب روابط زیر استفاده شد. طراحی گردید.

$$\text{Min}(f) = \sum_{t=1}^T \left( \frac{R_t - D_t}{S_{\text{Max}}} \right)^2 \quad (1)$$

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t \quad (2)$$

$$S_{\text{Min}} \leq S_t \leq S_{\text{Max}} \quad (3)$$

$$S_1 = S_{\text{Min}} \quad (4)$$

که در آن  $R_t$  میزان رهاسازی ماهانه،  $D_t$  میزان نیاز هر ماه،  $S_{\text{max}}$  حداکثر نیاز ماهانه،  $S_t$  و  $S_{t+1}$  به ترتیب میزان حجم ذخیره مخزن در ابتدا و انتهای دوره می‌باشد و  $T$  گام زمانی ماهانه است. برای بهینه‌سازی از معادله پیوستگی جریان مطابق رابطه ۲، به عنوان اصلی‌ترین قید حل مساله استفاده گردید. در این قید حجم مخزن در زمان بعدی ( $S_{t+1}$ ) به حجم مخزن در زمان قبلی ( $S_t$ ) و مقدار جریان ورودی به مخزن ( $I_t$ ) وابسته است. ضمن آن که طبق رابطه ۳، حجم مخزن ( $S_t$ )، بین دو مقدار حجم حداقل ( $S_{\text{Min}}$ ) و حجم حداکثر ( $S_{\text{Max}}$ ) و میزان رهاسازی، مطابق رابطه ۴، در محدوده رهاسازی حداقل ( $R_{\text{tMin}}$ ) و رهاسازی حداکثر ( $R_{\text{tMax}}$ ) است.

بار اجرای برنامه، در مخزن سد بوکان برابر ۱۳۸/۴ در اجرای هشتم و در مخزن سد مهاباد برابر ۶۸۶/۶ در اجرای دهم می‌باشد. به عبارت دیگر مقادیر تابع هدف در مخزن سد بوکان با ۵۰۰۰ تکرار در اجرای هشتم به حداقل مقدار رسید و افزایش تعداد اجراها موجب بهبود تابع هدف نشد. در سد مهاباد نیز با ۱۰ بار اجرا پس از ۲۰۰۰۰ تکرار، حداقل مقدار تابع هدف حاصل شد. در سد مهاباد اگرچه افزایش تعداد اجراهای بیش از ۱۰ اجرا می‌توانست به- جواب‌های مناسب‌تری بیانجامد، لیکن در این تحقیق هم- زمان با افزایش تعداد اجراها کیفیت جواب‌های به‌دست آمده بهبود نیافت. عدم بهبود جواب‌ها با افزایش تعداد اجراها می‌تواند به دلیل همگرایی ذرات به یک نقطه بین بهترین ذره موجود در گروه و بهترین موقعیت خود ذره در حالت همسایگی سراسری، وجود نرخ بالای اطلاعات بین ذرات و افزایش احتمال قرار گرفتن در بهینه محلی باشد. رمضانی موزیرچی و یعقوبی (۱۳۸۸) ضمن اشاره به، برای رفع مشکل از PSO مشکلات فوق برای الگوریتم تابعی با رفتار شبه تصادفی براساس نگاشت آشوب استفاده نمودند که در پژوهش حاضر نیز از مدل غیرخطی درجه دو به جای مدل خطی درجه ۱، در تعیین رفتار مخزن سد استفاده شد. لذا با فرض تبعیت تابع هدف از معادله درجه مجدداً اجرا و نتایج برای هر دو سد با PSO دو، الگوریتم ۱۰ بار اجرا در جدول (۲)، نمایش گردید. در سد بوکان براساس تعداد ۱۰ ذره و ۱۵۰۰۰ PSO نتایج الگوریتم تکرار و در سد مهاباد، نتایج با به‌کارگیری ۱۵ ذره و ۷۰۰۰۰ تکرار می‌باشد. این جدول نشان می‌دهد در حالت حاکم بودن مدل غیرخطی درجه ۲ بر رفتار مخازن سدها بهترین جواب حاصل از ۲ بار اجرای برنامه، در مخزن سد بوکان ۱۱۳/۹ و در مخزن سد مهاباد ۷۴۹/۷ بعد از سه بار اجرا می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان چنین اظهار داشت که تغییر معادله حاکم بر رفتار مخزن سد مهاباد از معادله خطی با ۱۰ اجرا ناموفق به مدل غیرخطی درجه ۲، با ۳ اجرا، در یافتن مقادیر کمینه تابع هدف موفق بود.

آمد. انتخاب تعداد ذره و تعداد تکرار مناسب جهت رسیدن به کمینه تابع هدف به‌روش سعی و خطا است. در الگوریتم PSO حرکت ذره از بهترین موقعیت فردی (pbest) به سوی موقعیت جمعی (gbest) در موقعیت  $n+1$  با معادلات زیر قابل کنترل است:

(۸)

$$V_{id}^{n+1} = X[V_{id}^n + C_1 r_1^n (Pbest_{id}^n - X_{id}^n) + C_2 r_2^n (Pbest_{id}^n - X_{id}^n)] \quad (۹)$$

$$X_{id}^{n+1} = X_{id}^n + V_{id}^{n+1}$$

که در آن  $d=1, \dots, D$  و  $i=1, \dots, N$  اندازه جمعیت،  $C_1$  و  $C_2$  ثوابت مثبت شتاب،  $r_1$  و  $r_2$  اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت در دامنه  $[0, 1]$ ،  $n$  تعداد تکرار و  $W$  وزن اینرسی می‌باشد. مقادیر  $C_1$  و  $C_2$  مشابه مقادیر توصیه‌شده در مطالعات اولیه معادل ۲ فرض گردید (کندی و ابرهات، ۱۹۹۵). پارامتر وزن اینرسی که در همگرایی الگوریتم PSO اثرگذاری زیادی دارد از رابطه زیر جایگزین شد.

$$W = W_{\max} - \frac{(W_{\max} - W_{\min}) \times n}{iter_{\max}} \quad (۱۰)$$

که در آن  $W_{\max}$  میزان اولیه اینرسی وزنی،  $W_{\min}$  میزان نهایی اینرسی وزنی،  $iter_{\max}$  حداکثر تعداد تکرارها و  $n$  نیز شماره تکرار جاری می‌باشد. از آنجایی که هیچ فرآیندی جهت کنترل سرعت وجود ندارد لذا سرعت در محدوده  $-V_{\min} \leq V \leq +V_{\max}$  در نظر گرفته شد (Merajji et al., 2005). نتایج حاصله به- صورت نمودارهای رهاسازی از مخزن و حجم ذخیره برای سال‌های خشک، تر و نرمال ترسیم شد.

## نتایج و بحث

جدول (۱) مقادیر تابع هدف به‌روش سعی و خطا، حاصل از اجراهای مختلف برنامه را با ۱۰ ذره نشان می‌دهد. همان‌گونه که از جدول (۱) مشاهده می‌گردد با در نظر گرفتن معادله خطی درجه ۱ بهترین جواب حاصل از ۱۰

جدول ۱- مقادیر تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه با ۱۰ ذره

شماره اجرا										سد	نوع رابطه	ذره	تعداد تکرار
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱				
۱۵۸/۷	۱۴۱/۸	۱۳۸/۴	۱۴۳/۳	۱۵۱/۳	۱۳۹/۰	۱۴۹/۸	۱۴۸/۰	۱۵۳/۷	۱۵۷/۵	بوکان	خطی	۱۰	۵۰۰۰
۶۸۶/۶	۷۳۲/۹	۷۰۸/۶	۶۹۹/۴	۷۶۰/۳	۷۰۲/۸	۷۳۴/۱	۷۰۵/۹	۷۴۲/۹	۸۳۴/۷	مهاباد	درجه ۱	۱۰	۲۰۰۰۰
۱۳۷/۹	۱۳۳/۳	۱۶۱/۲	۱۱۴/۷	۱۵۴/۷	۱۵۵/۸	۱۸۷/۷	۱۲۳/۱	۱۱۳/۹	۱۲۶/۵	بوکان	غیرخطی	۱۰	۱۵۰۰۰
۸۵۸/۹	۹۰۲/۰	۹۴۴/۸	۷۹۱/۴	۹۲۰/۵	۹۵۶/۱	۸۴۳/۹	۷۴۹/۷	۷۸۴/۴	۹۸۱/۳	مهاباد	درجه ۲	۱۵	۷۰۰۰۰

جدول ۲- مقادیر متغیرهای تصمیم حاصل از مدل‌های برتر به روش PSO

مدل سد	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
a	۰/۴۷	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۴۱	۰/۳۳	۰/۶۸	۰/۳۶	۰/۲۸	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۷۵	۰/۹۵
b	۰/۵۰	.	.	۰/۵۶	۰/۶۶	.	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۵۱	.	.	.
c	.	.	.	.	۰/۰۰۱	.	.	.	.	۰/۰۰۰۳	.	.
a	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۵۱	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۳
b	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
c	۰/۰۱۶	.	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱	.	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۹	.	.	.	.
d	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
e	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۱۳/۴۴	.	.

گام زمانی درازمدت دریافت نموده که شامل ۱۸۳ میلیون مترمکعب آب طی دوره خشک و ۴۴۹/۵ میلیون متر مکعب آب در دوره تر بود. در دوره نرمال نیز سد مهاباد ۲۶۷/۹۱ میلیون مترمکعب و سد بوکان ۱۴۰۲/۹۳ میلیون متر مکعب آب دریافت نموده است. ارقام فوق نشان می‌دهد که به‌طور متوسط میزان جریان ورودی طی دوره نرمال به مخزن سد بوکان ۵/۲۴ برابر مقدار جریان ورودی به مخزن سد مهاباد است. در ادامه با تعیین ضرایب مدل‌های خطی و غیرخطی (جدول ۲) و اجرای الگوریتم PSO برای دوره‌های خشک، تر و نرمال، در دو مخزن سدهای بوکان و مهاباد به‌عنوان خروجی‌های نرم‌افزار تعیین و نتایج آن به‌تفکیک هر سد در شکل‌های ۱ تا ۱۱ نمایش داده شد.

ضرایب مربوط به مدل خطی درجه یک (رابطه ۵) و مدل غیرخطی درجه دو (رابطه ۶) در جدول ۲، آمده است. جدول ۲، با توجه به مناسب بودن مدل خطی برای حداقل نمودن مقدار تابع هدف در سد بوکان و مناسب بودن مدل غیرخطی درجه ۲، برای سد مهاباد تنظیم شده است. در جدول (۳) اطلاعات مقادیر آب ورودی به مخزن هر سد برای سه سال خشک، تر و نرمال طی دوره آماری مورد بررسی در گام زمانی ماهانه آمده است. مطابق ارقام ارائه شده در جدول ۳، مجموع میانگین درازمدت آب ورودی به مخزن سد بوکان حدود ۱۵۰۶ میلیون مترمکعب است که در دامنه ۹۱۰/۸۴ و ۲۰۷۳/۶ میلیون مترمکعب به‌ترتیب در دوره خشک و تر بوده است. به همین ترتیب سد مهاباد ۲۶۹/۳ میلیون مترمکعب آب در

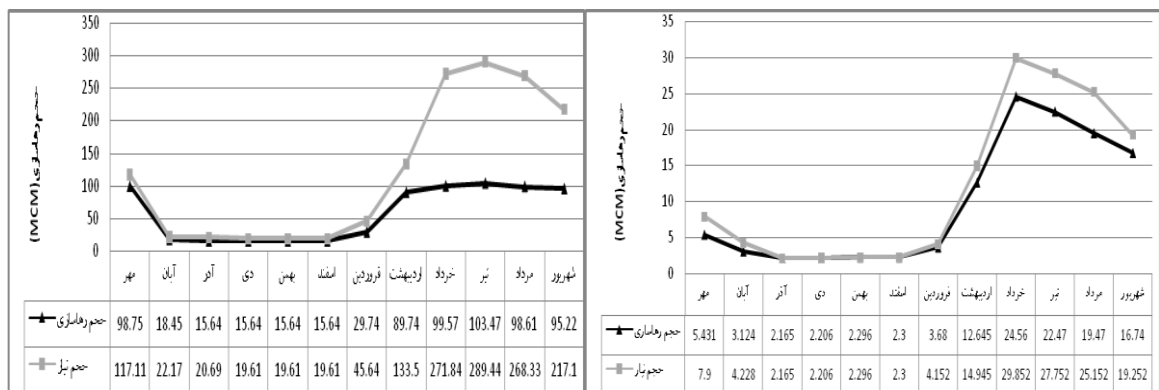
جدول ۳- میانگین میزان آب ورودی به مخزن سدها در دوره‌های مختلف.

نام سد	جریان ورودی به مخزن (میلیون مترمکعب)												
	دوره	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	
بوکان	میانگین درازمدت	۱۱/۸	۳۶/۳	۶۴/۵	۷۳/۵	۹۰/۶	۲۲۳/۳	۴۸۰/۵	۳۸۱/۸	۹۲/۴	۲۵/۹	۱۴/۳	۱۱/۸
	خشک	۸/۸۴	۲۶/۵۴	۳۵/۹۰	۳۲/۳۲	۴۲/۶۴	۱۱۵/۳۱	۴۲۹/۰	۱۴۸/۰۹	۴۸/۹۶	۹/۸	۷/۵۵	۵/۸۹
	نرمال	۷/۹۳	۳۴/۷۶	۳۳/۴۴	۶۲/۲۳	۱۰۲/۰۵	۱۹۸/۷۷	۳۹۰/۸۹	۴۰۰/۹	۱۰۷/۸۹	۳۵/۶۸	۱۵/۶۴	۱۲/۷۵
	تر	۱۵/۱۶	۳۴/۱۱	۳۵/۱	۲۹/۷۶	۳۵/۳۳	۲۵۰/۲۱	۶۲۷/۹۵	۷۱۸/۸	۲۴۹/۱۲	۴۴/۶۲	۱۹/۸۵	۱۳/۵۸
مهاباد	میانگین درازمدت	۲/۱	۶/۵	۱۰/۴	۱۴/۶	۱۸/۱	۲۵/۲	۱۰۵/۹	۶۱/۶	۱۸/۲	۳/۶	۱/۷	۱/۴
	خشک	۲/۱۰	۰/۳۹	۲۳/۰۹	۷/۱۰	۱۷/۷۰	۲۳/۸۰	۵۰/۸۱	۳۹/۲۹	۱۳/۹۰	۲/۴۱	۱/۱۰	۱/۳۱
	نرمال	۱/۷۹	۳/۶۰	۸/۸۱	۱۱/۳۰	۱۸/۶۹	۳۲/۰۰	۷۷/۳۰	۵۱/۸۰	۵۳/۸۱	۷/۲۰	۱/۱۰	۰/۵۱
	تر	۲/۱۰	۲۰/۴۰	۲۲/۳۹	۳۴/۵۰	۳۶/۲۹	۴۸/۱۱	۱۹۴/۵۱	۶۴/۳۹	۲۱/۴۰	۳/۵۱	۰/۸۰	۱/۱۰

### منحنی فرمان سال خشک

در شکل (۱) حجم رهاسازی و نیاز حجمی پایین- دست مخزن سد بوکان و مهاباد بر حسب میلیون مترمکعب در دوره‌های ماهانه ارائه شده است. تمامی

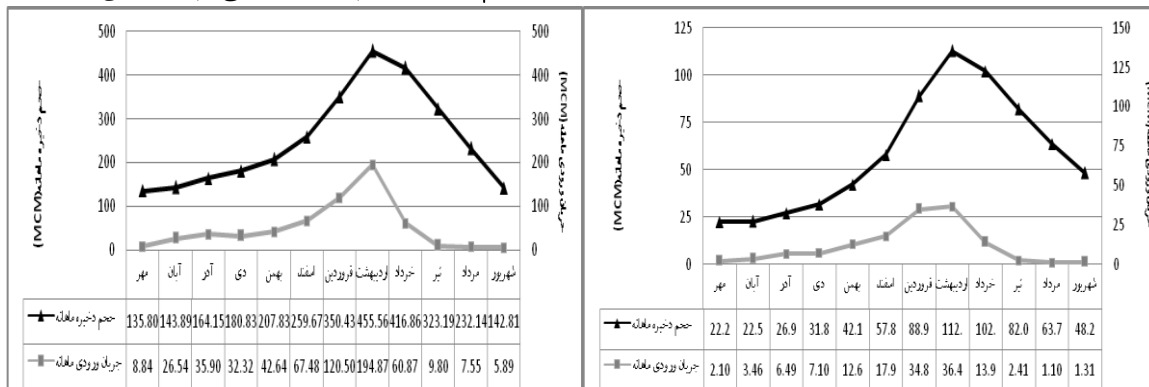
شکل‌های ارائه شده شامل حجم آب در محور عمودی به ازای ماه‌های مختلف یک سال آبی در محور افقی تنظیم شده‌اند.



شکل (۱): تغییرات رهاسازی در هر دوره زمانی برای سد مهاباد (سمت راست) و سد بوکان (سمت چپ) طی دوره خشک.

نشان‌دهنده کمبود آب در دوره خشک می‌باشد. از طرفی مقدار کمبودها با نزدیک شدن به انتهای سال آبی بیشتر و در سد بوکان مقادیر کمبود مشهودتر است. افزایش کمبود در انتهای سال آبی و مشهودتر بودن کمبودها به‌ویژه در سد بوکان شاید به‌دلیل اطمینان از تامین آب شرب باشد. به‌ویژه آن‌که در سد بوکان اهداف شرب وسیع‌تری نسبت به سد مهاباد در اهداف طراحی سد منظور شده است.

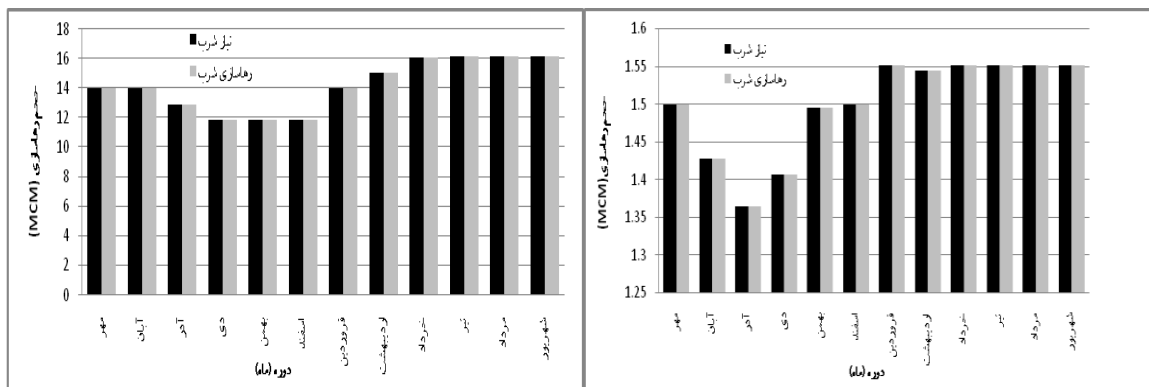
همان‌طور که در شکل ۱، مربوط به مخزن سد مهاباد (سمت راست) مشاهده می‌گردد، میزان رهاسازی به‌دلیل بارش‌های کم، به‌جز در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند که معادل نیاز پایین دست بوده در سایر ماه‌ها (معادل ۶۷ درصد ماه‌ها) از میزان نیاز پایین دست کمتر است. در شکل مربوط به مخزن سد بوکان (سمت چپ) نیز با شرایط مشابه، میزان رهاسازی از مخزن به‌دلیل خشکی در تمام ماه‌های سال از نیاز پایین دست کمتر بوده است که



شکل (۲): تغییرات حجم ذخیره مخزن در هر دوره زمانی برای سد مهاباد (سمت راست) و سد بوکان (سمت چپ) طی دوره خشک

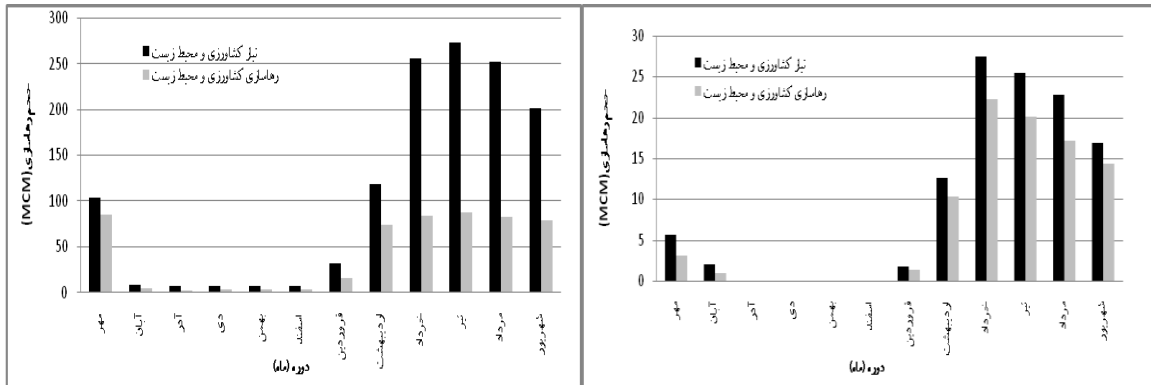
افزایش میزان جریانات ورودی و حجم آب ذخیره شده در ماههای فصل زمستان به دلیل شروع ریزشهای جوی و در اوایل فصل بهار به دلیل ادامه بارشها و ذوب تدریجی برخی ریزشهای زمستانه در فصل بهار به واسطه گرم شدن هوا می باشد. از طرفی مطابق شکل ۲، حجم ذخایر آب برای هر دو سد بوکان و مهاباد در ماه اردیبهشت با توجه به حداکثر بودن حجم جریان ورودی بیشتر از سایر ماهها می باشد. از دیگر نتایج شکل ۲، بیشتر بودن حجم ذخایر آب نسبت به حجم آب ورودی به مخزن سدها در ماههای مختلف سال است که قابل برنامه ریزی برای تامین نیازهای پایین دست است.

در شکل (۲) حجم جریان ورودی به مخزن و حجم ذخیره سازی در مخزن، نشان داده شده است. از شکل ۲، می توان ملاحظه نمود که هر دو سد در تمام ایام سال همواره از ذخیره آب برخوردار بوده اند که می توانند در راستای تامین منافع بهره برداران در پایین دست عمل نمایند. همچنین می توان اظهار داشت که روند ذخایر هر دو سد تابعی از میزان آب ورودی است. به گونه ای که هم گام با افزایش جریان ورودی در ماههای مهر تا اردیبهشت حجم ذخایر آبی افزایش و با کاهش مقادیر جریان ورودی در ماههای خرداد تا شهریور حجم ذخایر آب نیز کاهش یافته است.



شکل (۳): حجم رهاسازی نیاز شرب در هر دوره زمانی برای سد مهاباد (سمت راست) و سد بوکان (سمت چپ) طی دوره خشک





شکل (۴): حجم رهاسازی کشاورزی و محیط زیست در هر دوره زمانی سد مهاباد (سمت راست) و سد بوکان (سمت چپ) طی دوره خشک

در شکل (۳) میزان حجم رهاسازی برای تامین شرب و نیاز شرب پایین دست و در شکل (۴) نیز حجم آب مورد نیاز و رهاسازی شده برای بخش کشاورزی و محیط زیست بر حسب میلیون مترمکعب به صورت دوره‌های ماهانه طی دوره خشک ارائه گردیده است. همان گونه که شکل ۳، نشان می‌دهد در تمام ایام دوره خشک، سعی شده است تا نیازهای شرب مناطق تحت پوشش هر دو سد به طور کامل تامین گردد. مطابق شکل ۳، میزان مصرف آب شرب در ماه‌های فصل پاییز و زمستان با توجه به برودت هوا نسبت به سایر ماه‌ها کمتر و در ماه‌های تابستان به موازات گرم شدن هوا بیشتر است. در مقابل مطابق شکل ۴، به دلیل کم بودن ذخایر آب، مدیریت سد در تامین کامل نیازهای کشاورزی و محیط زیست ناموفق بوده است. بیشترین کمبود آب در تامین نیاز کشاورزی و محیط زیست، برای سد بوکان و مهاباد به ترتیب در ماه تیر و مهر است. مطابق نتایج شکل ۴، در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند هیچ گونه آبی برای بخش کشاورزی و محیط زیست از مخزن سد مهاباد آزاد نشده است و در سایر ایام سال هم همواره آب آزاد شده از مخزن سد مهاباد از مجموع نیازهای کشاورزی و محیط زیست کمتر است. مشابه چنین حالتی برای سد بوکان مبنی بر کمتر بودن حجم آب آزاد شده در مقایسه با نیاز بخش کشاورزی و محیط زیست برقرار است. در سد بوکان طی دوره خشک کمبودهای تامین نشده آب کشاورزی و محیط زیست طی ماه‌های مهر تا شهریور به ترتیب ۱۷/۸، ۴۵/۴۸، ۶۵/۰، ۵۱/۰۹، ۵۰/۲۴، ۳۶/۹۵، ۶۷/۳۵، ۶۸/۰۵، ۶۷/۳۰ و

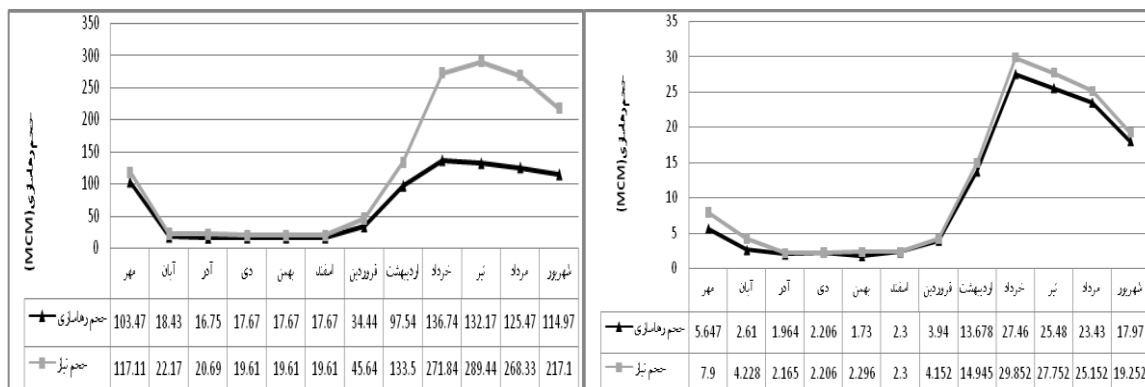
۶۰/۶۵ درصد می‌باشد (شکل ۴). در سد مهاباد نیز در ماه‌های مهر و آبان ۴۴/۰۸ و ۵۵/۲ و در ماه‌های فروردین تا شهریور ۲۶/۲۲، ۱۸/۲۵، ۱۹/۲۴، ۲۰/۷۹، ۲۴/۹۲ و ۱۴/۸۶ درصد کمبود آب وجود دارد. این اتفاق با توجه به هدف تامین کامل آب شرب و خشک بودن دوره انتخابی که به مفهوم کمتر بودن جریان آب ورودی به مخزن‌سدها نسبت به میانگین درازمدت (مطابق ارقام ارائه شده در جدول ۳) می‌باشد منطقی است. لیکن با توجه به شرایط اقلیمی کشور و منطقه و لزوم تامین نیاز همه بخش‌ها لازم است تا با مدیریت مصرف در بخش‌های پایین دست با صرفه‌جویی در آب مصرفی به‌ویژه در بخش شرب سعی شود نیاز قابل قبول حداقلی برای بخش کشاورزی و محیط زیست تامین گردد. از موارد مهم دیگر که می‌تواند در این زمینه کارساز باشد تغییر روش‌های آبیاری سنتی به مدرن تحت فشار، اعمال کم آبیاری در مزارع و باغات و افزایش راندمان آبیاری می‌باشد.

### منحنی فرمان سال نرمال

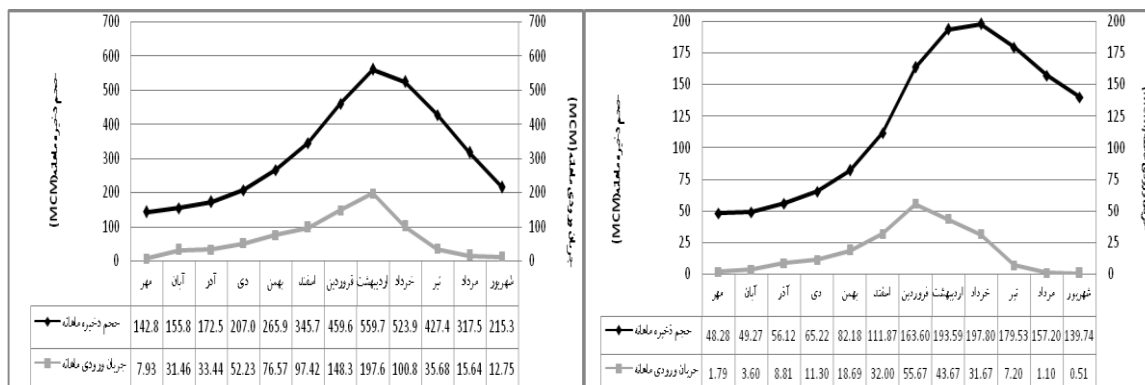
در شکل (۵) حجم رهاسازی و حجم نیاز پایین دست مخزن سد بوکان و مهاباد بر حسب میلیون مترمکعب در گام زمانی ماهانه طی دوره نرمال ارائه شده است. همان‌طور که از شکل ۵ ملاحظه می‌شود، در همه ماه‌ها، میزان رهاسازی از هر دو سد به جز ماه اسفند از سد مهاباد کمتر از میزان نیاز بوده است. مطابق شکل ۵، کمترین تفاوت بین حجم رهاسازی و حجم نیاز پائین دست در هر دو سد مربوط به ماه‌های فصل سرد سال و بیشترین تفاوت در

که نشان دهنده وضعیت مطلوب تر ذخایر مخازن در دوره نرمال است. مقایسه حجم آب آزاد شده نسبت به حجم ذخایر آب در هر دو سد نشان می دهد که کمترین تفاوت بین حجم ذخایر و حجم آزادسازی آب مربوط به سد مهاباد است. این به مفهوم تأمین کامل تر نیازهای پائین دست سد مهاباد نسبت به سد بوکان بویژه در ماه های گرم سال یعنی اردیبهشت تا شهریور است.

عدم رهاسازی براساس نیاز پائین دست مربوط به ماه های خرداد تا شهریور است. از آنجایی که ذخیره سازی آب در مخازن سدها طی دوره نرمال در مقایسه با سال خشک بیشتر است لذا حجم آب بیشتری جهت رفع نیازهای پائین دست آزاد شده است. مقایسه دو دوره نرمال و خشک (شکل ۵ و ۱) حاکی از بیشتر بودن حجم آب رهاسازی شده طی دوره نرمال نسبت به دوره خشک است



شکل (۵): تغییرات رهاسازی در هر دوره زمانی برای سد مهاباد (سمت راست) و سد بوکان (سمت چپ) طی دوره نرمال



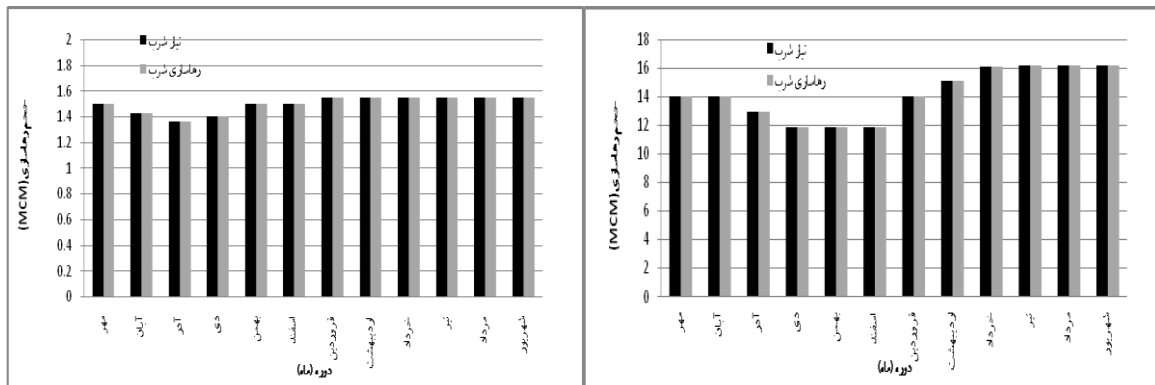
شکل (۶): تغییرات حجم ذخیره مخزن در هر دوره زمانی برای سد مهاباد (سمت راست) و سد بوکان (سمت چپ) طی دوره نرمال

خشک به ترتیب از ۶۵ درصد و ۳۳ درصد افزایش برخوردار است. شکل ۶ نشان دهنده همگام بودن تغییرات حجم آب ذخیره شده مطابق تغییرات حجم آب ورودی به مخزن هر دو سد است. به طوری که در هر دو سد بیشترین تغییرات ذخیره آب مربوط به فصل بهار است که می تواند به دلیل بارش های بهاره و جریانات سطحی حاصل از ذوب ریزش های جوی فصل قبل باشد. حداکثر حجم ذخیره آب در مخزن سد مهاباد معادل ۱۹۷/۸۰ میلیون مترمکعب در ماه خرداد بود که نسبت به ماه اردیبهشت (ماه حداکثر ذخیره) از دوره خشک ۴۳/۳۱ درصد بیشتر بود. در سد

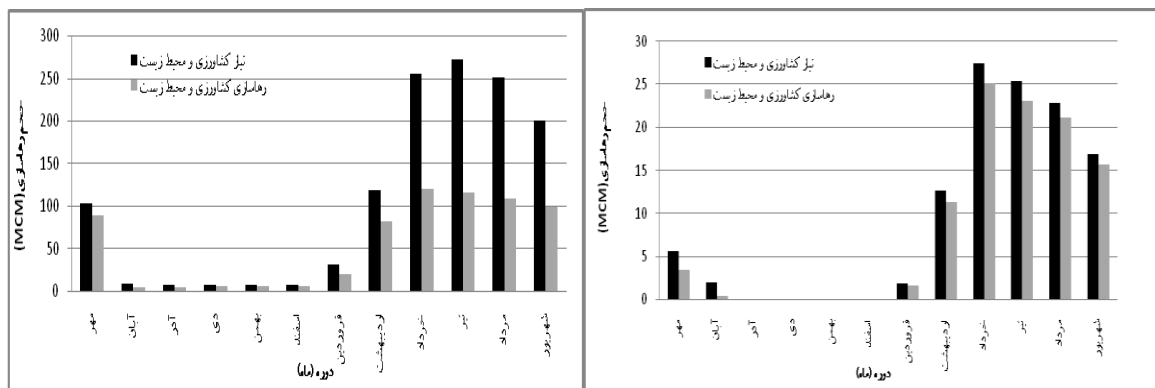
در شکل (۶) نمودار روند تغییرات حجم ذخایر مخزن نسبت به جریان ورودی ماهانه آمده است. طبق شکل (۶) برای سد بوکان، حداکثر ذخیره در ماه اردیبهشت رخ داده که ناشی از مقدار جریان ورودی بیشتر در این ماه است. به همین ترتیب برای سد مهاباد حداکثر حجم ذخیره آب مربوط به دو ماه اردیبهشت و خرداد است. حجم آب ذخیره شده در پایان دوره نرمال برای سد مهاباد معادل ۱۳۹/۷۴ میلیون مترمکعب و برای سد بوکان برابر ۲۱۵/۳ میلیون متر مکعب بود که نسبت به ماه متناظر در دوره

نیازهای کشاورزی و محیط زیست به طور کامل تامین نشده است (شکل ۸). این امر نشان می‌دهد که در صورت مدیریت نمودن نیازهای بخش شرب و عدم رهاسازی آب به واسطه فراوانی آن طی دوره نرمال می‌توان سهم بیشتری از کمبودهای کشاورزی و محیط زیست را تامین نمود. دلیل این امر شاید سود ظاهری بیشتر در دریافت هزینه‌های تامین آب بخش شرب از مشترکین نسبت به بهره‌برداران کشاورزی و محیط زیست باشد. هرچند میزان رهاسازی برای تامین نیازهای کشاورزی و محیط زیست در دوره نرمال (شکل ۸)، نسبت به دوره خشک (شکل ۴) بیشتر است که این امر می‌تواند به دلیل بهتر بودن وضعیت بارش‌ها وضعیت مطلوب‌تر ذخایر مخزن سدها باشد. در عین حال شکل ۸، نشان می‌دهد طی دوره نرمال حداکثر کمبود برای سد بوکان در ماه تیر با ۵۷ درصد است که به دلیل وجود حداکثر نیاز کشاورزی و محیط زیست در این ماه می‌باشد.

بوکان نیز حداکثر حجم ذخیره معادل ۵۵۹/۷۰ میلیون مترمکعب در ماه اردیبهشت اتفاق افتاده که نسبت به ماه مشابه از دوره خشک، ۱۸/۶ درصد حجم ذخیره بیشتر بوده است. در شکل (۷) میزان حجم رهاسازی و نیاز شرب پایین دست بر حسب میلیون مترمکعب در هر دوره ماهانه ارائه گردیده است. از مقایسه نقطه به نقطه میزان مصرف و رهاسازی حجم آب مورد نیاز بخش شرب در دوره نرمال (شکل ۷) با میزان مصرف و رهاسازی آب در بخش شرب دوره خشک (شکل ۳) می‌توان مشاهده نمود که در برخی از ماه‌ها طی دوره نرمال میزان مصرف و رهاسازی آب بیش از ماه مشابه در دوره خشک بوده است. به عنوان مثال در سد بوکان برای ماه‌های دی، بهمن و اسفند و ماه‌های تیر، مرداد و شهریور میزان رهاسازی و مصرف شرب نسبت به ماه‌های مشابه دوره خشک همین سد (شکل ۳) بیشتر بوده است. در حالی که در همه ماه‌ها طی دوره نرمال که سد از ذخایر بیشتری برخوردار بوده است



شکل (۷): حجم رهاسازی نیاز شرب در هر دوره زمانی برای سد مهاباد (سمت راست) و سد بوکان (سمت چپ) طی دوره نرمال



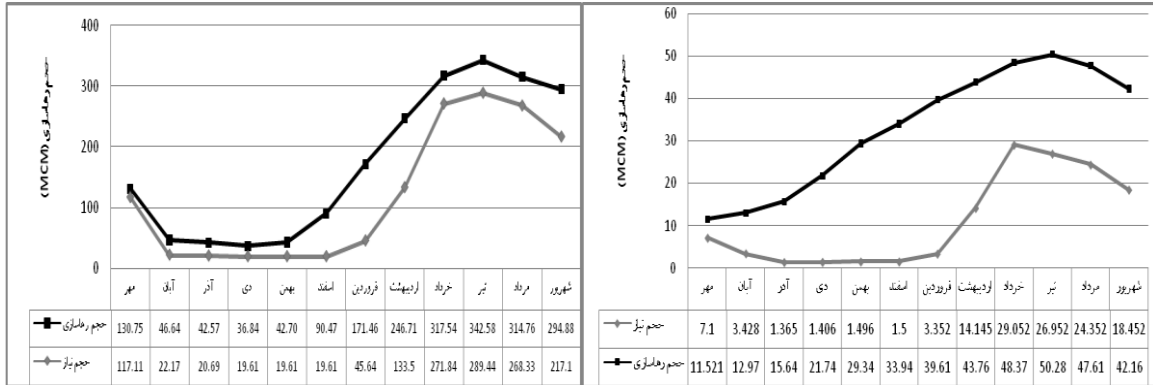
شکل (۸): حجم رهاسازی برای کشاورزی و محیط زیست در هر دوره زمانی سد مهاباد (سمت راست) و سد بوکان (سمت چپ) طی دوره نرمال

آب طی دوره تر، مازاد بودن میزان ذخایر سد است. مطابق شکل (۱۰) برای سد بوکان در فروردین و اردیبهشت به دلیل بارش نسبتاً خوب، در پیش بودن فصل گرما و افزایش میزان نیازها، میزان ذخیره آب افزایش یافته است. ولی این میزان به اندازه حداکثر حجم مخزن بوده و آب مازاد به وسیله سرریز از مخزن سد تخلیه گردیده است. همچنین مطابق شکل (۱۰) حداکثر حجم ذخیره برای سد مهاباد در دوره تر برابر حداکثر حجم مخزن بوده و مازاد جریان ورودی به وسیله سرریز، از مخزن خارج می گردد. حداکثر حجم ذخیره و حجم ذخیره در انتهای این دوره، بیشتر از دوره خشک و نرمال می باشد. این موضوع در سد بوکان به صورت مناسب تری برای ماه اردیبهشت با توجه به فزونی مقدار جریان ورودی نسبت به حجم آب ذخیره شده در همین ماه مشهود است. در مجموع شکل (۱۰) نشان می دهد که در سد مهاباد در بازه زمانی فروردین تا مرداد و در سد بوکان از فروردین تا تیرماه به ترتیب ۲۰۰ و ۶۵۰ میلیون مترمکعب در ماه ذخیره شده که حداکثر حجم قابل ذخیره بوده است. در شکل (۱۱) مقادیر نیاز شرب ماهانه و حجم رهاسازی برای آب شرب از دو سد مهاباد و بوکان به تفکیک آمده است. همان گونه که شکل (۱۱) نشان می دهد در دوره تر نیز مشابه دوره خشک و نرمال، ۱۰۰ درصد نیازهای بخش شرب تامین شده است. مطابق شکل (۱۲) برای سد بوکان به دلیل بارش های فراوان در این دوره، حجم ذخیره مخزن جوابگوی همه نیازهای پایین دست بوده و کمبودی از لحاظ تأمین آب شرب، کشاورزی و محیط زیست وجود ندارد. البته باید توجه داشت وجود دوره تر با توجه شرایط اقلیمی ایران خیلی قابل انتظار نمی باشد. لذا در بهترین شرایط شاید انتظار دوره نرمال و مقبول تر باشد. بدین جهت بایستی مدیریت به گونه ای باشد که تحت شرایط نرمال و خشک حداکثر منافع پایین دست تامین گردد.

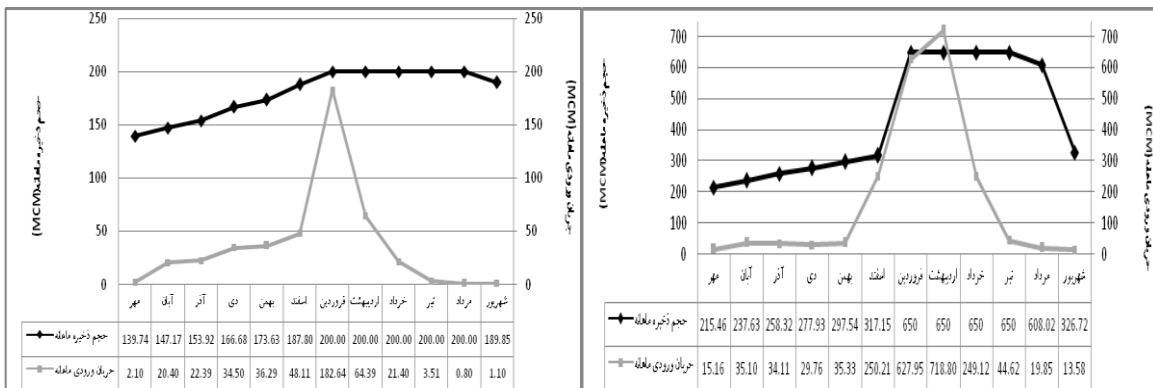
به همین ترتیب برای سد مهاباد حداکثر کمبود نیاز کشاورزی و محیط زیست در ماه مهر معادل ۴۰ درصد است که کمتر از میزان کمبود آب برای ماه مهر در سال خشک (۴۷ درصد) می باشد. کمتر بودن نیازهای بخش کشاورزی و محیط زیست به واسطه نرمال بودن دوره از نظر حجم آب ورودی بیشتر نسبت به میانگین درازمدت در مقایسه با دوره خشک منطقی است. نتایج شکل ۸ حاکی از  $۱۳/۲۳$ ،  $۴۵/۷۲$ ،  $۵۰/۷۱$ ،  $۲۴/۹۷$ ،  $۲۴/۹۷$  و  $۲۴/۹۷$  درصد کمبود آب در بخش کشاورزی و محیط زیست برای سد بوکان به ترتیب از مهر تا پایان شهریور می باشد. به همین ترتیب برای سد مهاباد نیز  $۴۰/۲۳$  و  $۵۰/۹$  درصد در دو ماه مهر و آبان و  $۱۱/۷۷$ ،  $۱۰/۰$ ،  $۸/۶۹$ ،  $۸/۹۴$  و  $۷/۵۵$  درصد آب طی ماه های فروردین تا شهریور ماه به بخش کشاورزی و محیط زیست اختصاص نیافته است. لازم به ذکر است که بخشی از کمبود آب در بخش کشاورزی و محیط زیست طی دوره نرمال می تواند ناشی از تامین کامل آب شرب و عدم مدیریت آب در بخش کشاورزی باشد.

### منحنی فرمان سال تر

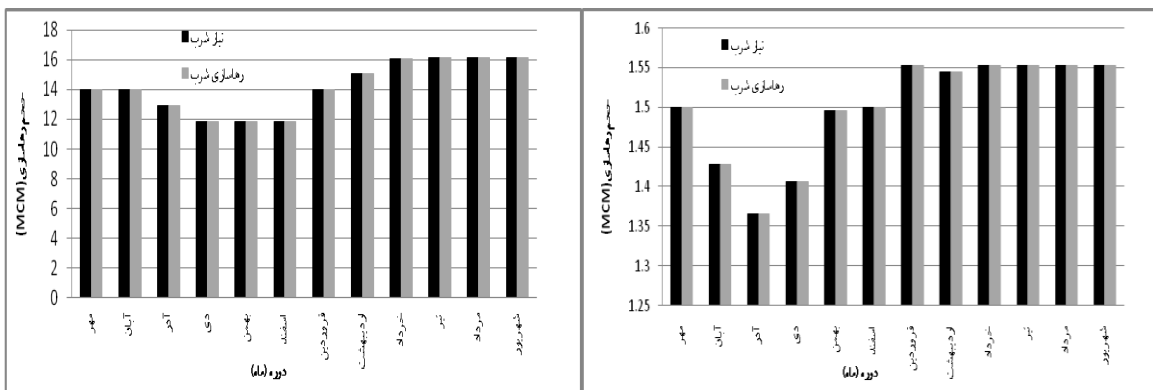
شکل (۹) میزان رهاسازی آب از مخزن هر دو سد و حجم نیاز در ماه های مختلف سال طی دوره تر را نشان می دهد. همان طور که در شکل (۹) مشاهده می شود، به دلیل بارش های زیاد و به تبع آورد بیشتر آب به مخازن سدها در این دوره، میزان رهاسازی از سد مهاباد و سد بوکان در همه ماه ها بیشتر از حجم نیاز در آن ماه می باشد. از مقایسه شکل (۹) با دو شکل (۵) و (۱) می توان مشاهده نمود که حجم آب رهاسازی در دوره تر نسبت به دوره های نرمال و خشک در مقایسه با حجم نیازهای پایین دست بیشتر است. یکی از دلایل این امر علاوه بر فراوانی



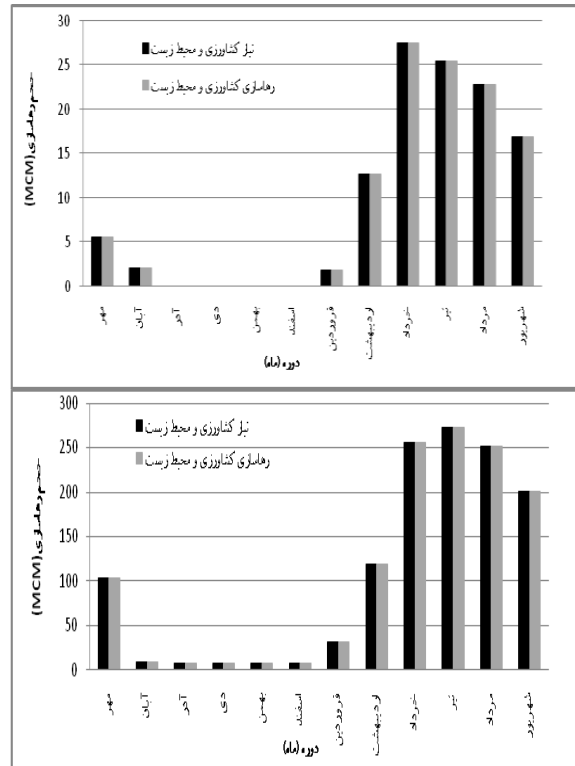
شکل (۹): تغییرات رهاسازی در هر دوره زمانی سد مهاباد (سمت راست) و سد بوکان (سمت چپ) طی دوره تر



شکل (۱۰): تغییرات حجم ذخیره مخزن در هر دوره زمانی برای سد مهاباد (سمت راست) و سد بوکان (سمت چپ) طی دوره تر



شکل (۱۱): حجم رهاسازی نیاز شرب در هر دوره زمانی برای سد مهاباد (سمت راست) و سد بوکان (سمت چپ) طی دوره تر



شکل (۱۲): حجم رهاسازی نیاز کشاورزی و محیط زیست در هر دوره زمانی سد مهاباد (سمت راست) و سد بوکان (سمت چپ) طی دوره تر

که استفاده بهینه از جریان‌های در دسترس سطحی به‌ویژه در دوره‌های تر و نرمال می‌تواند از فشار برداشت منابع زیرزمینی بکاهد. ضمن آن‌که در دوره‌های خشک نیز با کاهش سطح زیر کشت محصولات و کاشت گیاهان مقاوم به کمبود آب بتوان با برقراری مدیریت مناسبی از آب مخزن و نیازهای پایین دست از محدودیت در بخش شرب و به‌ویژه در بخش محیط زیست جلوگیری نمود. مشابه چنین نتیجه‌ای در مطالعه خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۹۳) برای کاستن از فشار برداشت آب زیرزمینی دشت نیشابور در خصوص تعیین الگوی کشت بهینه با الگوریتم PSO برای دوره‌های خشکسالی و نرمال آمده است. از طرفی با عنایت به ناتوانی تامین نیازهای پایین دست در ماه‌های پر مصرف می‌توان با اعمال سیاست جیره‌بندی در زمان‌های قبل از نیاز حداکثر و ذخیره بخشی از آب جیر-بندی شده نسبت به کاهش فشار کمبود در زمان پیک مصرف اقدام نمود.

مقایسه تغییرات حجم ذخیره جریان ورودی به مخازن سدها در دو دوره خشک و نرمال در شکل‌های ۲ و ۶ نشان می‌دهد که هر دو سد در ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت فضای لازم را برای کنترل سیلاب‌ها در دوره‌های خشک و نرمال در اختیار داشته‌اند. لیکن سد مهاباد مطابق شکل ۱۰ در دوره تر گنجایش لازم را برای کنترل تمامی سیلاب فصل بهار نداشته و بخشی از آب را برای حفظ ایمنی سد رها نموده است. این امر نشان می‌دهد که بهینه‌سازی برداشت از مخازن سدها بدون تفکیک دوره‌های خشک و تر می‌تواند نتایج را برای مخازن در زمان‌هایی مواجه با حداقل جریان ورودی (دوره خشک) و حداکثر جریان ورودی (دوره تر) تعدیل نماید. به عبارت دیگر این امر مانع از مشاهده مسایل و مشکلات طی این دو دوره زمانی می‌شود. برخی محققین سعی در استفاده از الگوریتم‌های خاص نظیر الگوریتم گرگ (اکبری فرد و همکاران، ۱۳۹۴) و یا الگوریتم ژنتیک با توابع فیتد خاص (زینلی و همکاران، ۱۳۹۴) را داشته‌اند. هم‌چنین با توجه به اهمیت جریان‌های سطحی می‌توان چنین نتیجه گرفت

## نتیجه گیری

در مدل PSO تعیین تعداد ذرات و تعداد تکرارها بستگی به نوع مسئله داشته که با آزمون سعی و خطا حاصل می‌شود. با افزایش تعداد ذرات نتایج تابع هدف بهبود می‌یابد ولی سرعت رسیدن به جواب مسئله طولانی‌تر می‌گردد. از طرفی الگوریتم PSO افزایش تعداد ذرات یا تعداد اجراها گاهی بی کیفیت شدن جوابها می‌انجامد که به‌عنوان یکی از عیب‌های این الگوریتم به‌دلیل قرار گرفتن در بهینه محلی یا همگرایی ذرات باشد. معیار تصمیم‌گیری درباره تعداد تکرارها، تثبیت شدن مقدار تابع هدف و رضایت‌بخش بودن پاسخها می‌باشد. برنامه‌ریزی در نرم‌افزار MATLAB برای استخراج منحنی‌های فرمان طوری انجام گرفت که نیاز شرب به‌طور کامل تأمین شود. ولی تأمین نیاز آبی کشاورزی و محیط زیست بستگی به خشک یا تر بودن سال آبی متغیر بود. بنابراین در بعضی از ماه‌های فصول گرم سال، طی دوره خشک و نرمال مقادیر رهاسازی از مخزن کمتر از نیاز کشاورزی و محیط زیست می‌باشد. از این‌رو نیاز به یک برنامه مدیریتی جامع جهت تأمین آب مورد نیاز در ماه‌های کم آب ضروری به‌نظر می‌رسد. به دلیل کمبود آب در بعضی از فصول گرم سال استفاده از آبیاری‌های با راندمان بالا از جمله آبیاری‌های قطره‌ای و بارانی و کم آبیاری آگاهانه در باغات و مزارع توصیه می‌شود. ضمن آن‌که صرفه‌جویی در بخش شرب نیز با فرهنگ‌سازی مصرف کمتر قابل مدیریت است.

در این تحقیق پارامترهای روابط الگوریتم PSO با اعمال دو مدل خطی درجه یک و غیرخطی درجه دو بر رفتار مخزن سدها به‌دست آمد. معیار انتخاب هر کدام از مدل‌ها تثبیت مقدار حداقل تابع هدف در اجراهای متوالی

بود. در این راستا در سد بوکان حداقل مقدار تابع هدف با مدل خطی درجه یک در اجرای هشتم تثبیت شد. در سد مهاباد حداقل مقدار تابع هدف با مدل غیرخطی درجه دو در اجرای سوم حاصل گشت. عدم تثبیت مقدار تابع هدف برای سد مهاباد با مدل خطی درجه یک می‌تواند ناشی از افتادن الگوریتم PSO در بهینه محلی باشد. در این تحقیق تثبیت حداقل مقدار تابع هدف در سد مهاباد با حاکم بودن معادله درجه یک خطی مشاهده نشد که با تغییر معادله حاکم بر رفتار مخزن از معادله خطی درجه یک به معادله غیرخطی درجه دو به‌موازات افزایش تعداد ذره و تعداد تکرارها رفع گردید. نتایج نشان داد از الگوریتم PSO می‌توان در همه شرایط اقلیمی مانند سال‌های پر آب و سال‌های کم آب (خشکسالی) جهت بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب موجود استفاده نمود. هم‌چنین نتایج اجرای این الگوریتم بر روی دو سد مخزنی نشان داد که الگوریتم‌های فراکاوشی توانایی مدیریت بهینه بهره‌برداری چندهدفه از مخازن سدها را دارند و می‌تواند جایگزین مدل‌های بهره‌برداری تجربی شوند. لذا استفاده از راهکارهای فراکاوشی دیگر با قابلیت تنظیم خودکار ضرایب تصمیم در حین اجرای برنامه و مقایسه با نتایج تحقیق حاضر پیشنهاد می‌شود. امکان توسعه الگوریتم حاضر در مسائلی دارای متغیرهای تصمیم از نوع گسسته، مانند شبکه توزیع آب شهری وجود دارد. به‌همین ترتیب امکان استفاده از الگوریتم حاضر در سایر مسائل بهینه‌سازی در حوزه منابع آب، مانند مدیریت کیفی، مطالعات آب زیرزمینی و شبکه‌های توزیع آب شهری که شبیه‌سازی آن‌ها دارای تنوع و پیچیدگی‌هایی در ساختار می‌باشد پیشنهاد می‌شود.

## منابع

- آزادنیاء، ا. و ب. زهرایی. ۱۳۸۹. کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی PSO در بهینه‌سازی چندهدفه بهره‌برداری از مخازن سدها. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران. ۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹، دانشگاه فردوسی مشهد. ایران.
- اکبری فرد، س. ک. قادری، ب.، بختیاری. ۱۳۹۴. تدوین سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از سامانه مخازن در حوضه آبریز گرگانرود با استفاده از الگوریتم جستجوی گرگ (WSA). فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۶(۲۱): ۷۵-۹۰.
- امامی تبریزی، س. ج.، موسوی، ر.، افزلی. ۱۳۹۰. PSO-MODSIM: مدل بهینه‌سازی-شبیه‌سازی در طراحی و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های چندمخزنه برقابی. نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری. ۷(۷): ۷۵۳-۷۶۲.

خاشعی سیوکی، ع.ب.، قهرمان، م.، کوچک زاده. ۱۳۹۳. تعیین الگوی کشت بهینه برای جلوگیری از افت آب زیرزمینی با الگوریتم PSO. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۴): ۱۳۷-۱۴۸.

رمضانی موزیرجی، ف.م. یعقوبی. ۱۳۸۸. الگوریتم کیبایک بهینه‌سازی پرندگان. اولین کنفرانس ملی و مهندسی نرم‌افزار ایران. آموزشکده فنی و حرفه‌ای سما. رودهن. ص. ۴۱۴-۴۱۹.

زینلی، م.ج.، محمدرضا پور، ف. فروغی. ۱۳۹۴. ارزیابی الگوریتم‌های ازدحام ذرات، ژنتیک و سیستم مورچگان پیوسته در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد درودزن. نشریه دانش آب و خاک. ۲۵(۳): ۲۷-۳۸.

فلاح مهدی‌پور، ا. ی. وی‌بلوری یزدلی، ی. و ا. بزرگ حداد. ۱۳۸۷. استخراج منحنی فرمان بهره‌برداری مخزن دز براساس الگوریتم PSO، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.

معراجی، س. ح. ولی‌پور، ر. و س. ص. معراجی. ۱۳۸۵. بهینه‌سازی ابعاد انحراف سدها براساس ریسک با استفاده از الگوریتم PSO. مجله علمی دانشجویان. دانشکده مهندسی عمران. ۳۵: ۳۶-۳۱.

منعم، م. ج. و م. ع. نوری. ۱۳۸۹. کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی PSO در توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه‌های آبیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱ (۴): ۸۲-۷۳.

- Baltar A.M., and Fontane D.G. 2006. A multiobjective particle swarm optimization model for reservoir operations and planning. Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering. June 14-16. Montréal, Canada.
- Baltar A.M., and Fontane D.G. 2006. A generalized multiobjective particle swarm optimization solver for spreadsheet models: application to water quality, in Hydrology Days. Fort Collins, Colorado, March 2006.
- Baltar, A. M., & Fontane, D. G. (2008). Use of multiobjective particle swarm optimization in water resources management. ASCE Journal of Water Resources Planning and Management, 134(3), 257-265.
- Blum, C. and A. Roli. 2003. Metaheuristic in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison. ACM Computing Surveys 35(3): 268-308.
- Cyriac, R. & Rastogi, A. K. (2013). An overview of the applications of particle swarm in water resources optimization, Proceedings of Seventh International Conference on BioInspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA 2012), advances in intelligent systems and computing, (202), 41-52.
- Montalvo I., Izquierdo J., Perez R., and Tung M. 2008. Particle Swarm Optimization applied to the design of water supply systems, Computers and Mathematics with Applications, 56 (3): 769-776.
- Izquierdo, J., Montalvo, I., Perez, R., and Fuertes, V. 2008. Design optimization of wastewater collection networks by PSO. Computers and Mathematics with Applications 56 (3): 777-784.
- Kennedy, J. and R. C. Eberhart. 1995. Particle Swarm Optimization. Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Network: 1942-1948.
- Kumar, D. N., & Reddy, M. J. (2007). Multipurpose reservoir operation using particle swarm optimization. Journal of Water Resources Planning and anagement, 133(3), 192- 201.
- Meraji. S. H., Afshar, M.H., and Afshar. A. 2005. Reservoir Operation by Particle Swarm Optimization Algorithm. 7th International Conference of Civil Engineering. Icce7th. Tehran. Iran.
- Metropolise, N., Rosenbluth, A., Teller, A., and Teller, E. 1953. Equation of state calculations by fast computing machines. J. Chem. Phys. 21: 1087-1092.
- Montalvo, I., Izquierdo, J., Perez, R., and Tung, M.M. 2008. Particle Swarm Optimization applied to the design of water supply systems, Computers and Mathematics with Applications. 56: 769-776.



- Reddy, M.J and Kumar, D.N .2007. Multi-objective particle swarm optimization for generating optimal trade-offs in reservoir operation. *Hydrological Processes*, 21: 2897-2909. Doi: 10.1002/hyp.6507.
- Ritzel, B., Ebeart, J. W. and Ranjithan, S. 1994. Use genetic algorithms to solve a multiple objective ground water pollution problem, *Water Resour. Res.*, 30(5): 1589-1603.
- Suribabu. C. R., and Neelakantan. T. R. 2006. Design of water distribution networks using particle swarm optimization. *Urban Water J.* 3 (2): 111-120.
- Wardlaw, R. and M. Sharif .1999. Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE 125(1): 25-32.

## Extraction the curves command of Bukan and Mahabad dam reservoir using PSO algorithm

Hamid Zare-Abyaneh<sup>1\*</sup>, Bahareh Abdollahzadeh<sup>2</sup>, Sahar Palangi<sup>3</sup>

### Abstract

In this study, PSO optimization algorithm was used to extract curves command of two Bukan and Mahabad dam reservoirs. The purpose was supplying of water need for drinking, agriculture and environment during specified period. Two linear and non-linear quadratic equations were used in the implementation of the PSO algorithm to explain behavior of two dams. The best answer was achieved from eighth implementation with 10 particles and 15,000 iterations for Bokan dam from linear 1 degree model with minimum value of target function 138.4 and also as an optimal model for Mahabad Dam in the third run with 10 particles and 70,000 iterations and applying a non-linear 2 degree model with 749.7 value of target function. The results showed that total long-term average inflow was 1506 and 269.3 million cubic meters during the wet and dry periods for Bukan and Mahabad reservoir, respectively. However, water shortages were 17.8, 45.48, 65.0, 51.9, 51.9, 50.24, 36.95, 67.35, 68.05 and 60.65, in agriculture and environment sections in Bokan dam at dry periods during October and September, respectively. Also, water shortages was 44.08 and 55.2 in Mahabad dam in October and November, and 26.22, 18.25, 19.24, 20.79, 24.92 and 14.86 % of in April and September. Thus the release of water was complete for drinking purposes in the dry and normal years and was less than required for agriculture and the environment purposes. Also maximum deficit was 57 and 40 % in July and October for Bukan and Mahabad, respectively. Overall it can be said That, part of the shortage of agriculture and environment caused by the lack of inflow to the lake of the dams and partly is due to completely supply drinking needs. While all sectors in all months have had enough of the water in wet year due to the high inflow into the lake of the dams.

**Keywords: Particle Swarm Optimization, The Society Particles, Collective Behavior, Movement of Birds and Fishes.**

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran \*Corresponding Author, Email: [zareabyaneh@gmail.com](mailto:zareabyaneh@gmail.com)

<sup>2</sup> M.S. Graduated of Irrigation and Drainage, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

<sup>3</sup> Ph.D. student of Irrigation and Drainage, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.