

سیاست بهره‌برداری بهینه از مخزن با رویکرد احتمال کاهش جریان از سد با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: سد مخزنی مه‌آباد)

• کاظم صابر چناری

دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران (نویسنده مسئول)

• هیراد عبقری

دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

• مهدی عرفانیان

دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

• مرضیه قادری

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تربت جام، باشگاه پژوهشگران جوان، تربت جام، ایران

• حسین سلمانی

دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

• امید اسدی نلیوان

دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: مهر ماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۱۳۹۳

Email: saber.h64@gmail.com

چکیده

در علم مدیریت منابع آب، بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های آبی موجود از جمله سدها، روز به روز اهمیت بیشتری می‌یابد به گونه‌ای که به دلیل محدود بودن منابع مالی، محدود بودن منابع آبی قابل استحصال و مشکلات زیست محیطی، بهینه‌سازی بهره‌برداری از این سیستم‌ها به تدریج جایگزین احداث سیستم‌های جدید می‌گردد. مسئله بهره‌برداری بهینه از منابع آب معمولاً پیچیده، چندمتغیره و چندمحدودیتی است که حل آن‌ها نیاز به روش‌های بهینه‌سازی توانمند دارد. به همین دلیل محققین در این زمینه به دنبال استفاده از روش‌های کاوشی همچون الگوریتم ژنتیک بوده‌اند. در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک به منظور بهره‌برداری بهینه از سد مخزنی مه‌آباد در شمال غربی ایران استفاده شد. تابع هدف تحقیق حداقل سازی اختلاف بین تقاضای آبی پایین دست و مقدار رهاسازی آب از سد در نظر گرفته شد. در ابتدا تحلیل حساسیت الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن متغیرهای مختلف انجام شد. در ادامه مسئله مورد نظر با در نظر گرفتن احتمال کاهش، جریان ورودی به سد برای یک دوره ۲۴ ماهه در سناریوهای مختلف شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک حتی در شرایط بحرانی از خشکسالی کارایی مناسبی داشته و مدل بهینه شده می‌تواند نیاز آبی پایین دست را تأمین کند.

کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک، روش‌های کاوشی، بهینه‌سازی، سد مخزنی مه‌آباد، ایران.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 111 pp: 34-43

Optimization Reservoir Operation Policy with Approach reduces probability of inflow Using Genetic Algorithm (The case study: Mahabad Reservoir Dam)

By: K. Saber Chenari, PhD, Watershed Management Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran (Corresponding Author). H. Abghari, Associate Professor, Faculty of Neutral Resources, Urmia University, Urmia, Iran. M. Erfania, Associate Professor, Faculty of Neutral Resources, Urmia University, Urmia, Iran. M. Ghaderi, Young Researchers and Elite Club, Torbat-e-Jam Branch, Islamic Azad University, Torbat-e-Jam, Iran. H. Salmani, PhD Student, Watershed Management Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran. O. Asadi Nalivan, PhD Student, Watershed Management Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran.

In the management water resources science, optimal Operation of existing water systems, such as dams, every day is more important. Due to budget and operational water resources limitations and environmental problems, optimize operation of these systems are gradually replaced by new systems are constructed. Optimal Operation of water resources is a Complex, nonlinear, multi-constraint and multidimensional optimization Problem, so to solve them robust optimization techniques needs are needed. In this study Genetic Algorithm optimization has been used in operation of the Mahabad reservoir Dam in Northwest of Iran. The objective function is minimization of difference between downstream monthly demand and release. Early; Sensitivity analysis of GA model performed by considering of various parameters. Then the method was applied considering the reduce probability of inflow to dam for period 24months in the different scenarios. The results show that, the critical condition of drought could managed by the GA model, the optimized model could satisfy downstream watery demand.

Keywords: Genetic algorithm, Heuristic methods, Optimization, Mahabad Dam reservoir, Iran.

مقدمه

گذاشته است. مطالعه الگوریتم ژنتیک در اواسط دهه ۱۹۷۰ آغاز شد. بعد از آن Goldberg (1989) و Michalewicz (1992) معرفی کامل و دقیق این روش را ارائه کرده‌اند. استفاده از الگوریتم ژنتیک در منابع آب به دو دهه اخیر بر می‌گردد. Chang and Chen (2005) از مدل الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی رهاسازی آب در یک دوره ۱۲ ماهه با هدف حداکثر کردن انرژی الکتریکی استفاده کردند. Kumar و Raju (2006) جهت بهینه کردن عملکرد مخزن سد یک منظوره مالاپرابها ۲ در هند برای آبیاری گیاهان زراعی، الگوریتم ژنتیک را با برنامه‌ریزی خطی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که عملکرد الگوریتم ژنتیک با برنامه‌ریزی خطی در توزیع آب بین مراحل مختلف رشد تفاوت چندانی ندارد. Ghadami, Ghahramani, Sharifiand and Rajabi (2009) با استفاده از الگوریتم ژنتیک قطعی برنامه‌ای برای بهره‌برداری بهینه از سیستم چند مخزنی آبدار شمال خراسان جهت مصارف کشاورزی تدوین کردند. در این مدل، با توجه به مقادیر مشخصی از متغیرهای حالت اعم از حجم جریان در ابتدای سال و رژیم رودخانه در طول فصل زراعی، مناسب‌ترین الگوی بهره‌برداری از مخزن سدها تعیین شد. Hakimi, Ghodsypour and Kerachian (2009) از مدل GA برای بهره‌برداری ماهانه از مخازن سد کارون و دز با در نظر گرفتن اهداف ذخیره آب برای تقاضای پایین دست و تولید انرژی استفاده کردند. Mathr and Nikam (2009) در کاربرد مدل الگوریتم ژنتیک به منظور بهره‌برداری بهینه

افزایش روز افزون نیازهای آبی و تقاضای مداوم برای آب با کیفیت و توزیع زمانی و مکانی مناسب آن از یک سو و محدودیت منابع آب تجدیدپذیر از سوی دیگر، متخصصین، برنامه‌ریزان و محققان را وادار به تفکر و ارائه طرح‌های جامع‌تر و پیچیده‌تر جهت بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب موجود از جمله مخازن سدها به عنوان یکی از اجزاء اصلی ذخیره و تنظیم جریان آب‌های سطحی نموده است. تحلیل سیستم مخازن به صورت چندگانه امکان بهره‌برداری یکپارچه و بهینه از مخازن موجود را ممکن می‌سازد. در سال‌های اخیر الگوریتم‌های فراکاوشی به عنوان یک روش بهینه‌سازی کارا در زمینه حل مسائل پیچیده، بزرگ مقیاس، دارای حجم عملیاتی زیاد، با توابع هدف و قیدهای خطی، ناپیوسته، مشتق‌ناپذیر و غیر محدب، به دلیل همگرایی سریع‌تر به جواب و سادگی نسبت به روش‌های سنتی مانند برنامه‌ریزی خطی و پویا و غیره مورد توجه قرار گرفته است. در بسیاری از مسائل واقعی، حتی در مسائل واقعی مهندسی آب، تصمیم‌گیرنده تنها با رسیدن به جواب‌های خوب و نه فقط جواب بهینه مطلق ارضا می‌شود. به این ترتیب امکان استفاده از روش‌های فراکاوشی که تضمین‌کننده جواب بهینه مطلق نبوده ولی در طول مسئله، جواب‌های ممکن مختلفی ایجاد نموده و نهایتاً بهترین جواب را انتخاب می‌نمایند، مورد توجه قرار گرفته است (Jalali, 2005). در طول دهه گذشته استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱، به عنوان یک روش بهینه‌سازی کاوشی برای مخازن، کارنامه قابل قبولی از خود برجای

تصادفی تخمین زده می‌شود که این کار با عملگر جهش صورت می‌گیرد (Ahmadi and Fallahi, 2006, Karamuz). هدف از این تحقیق بهره‌برداری بهینه از سد مخزنی مهاباد با استفاده از الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن احتمال کاهش جریان از سد در یک دوره ۲۴ ماهه در سناریوهای مختلف می‌باشد

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه مهاباد در شمال غرب ایران قرار گرفته است و یکی از حوزه‌های اصلی آبخیز دریاچه ارومیه است. مساحت کل حوضه در محل سد مهاباد ۸۰۷ کیلومتر مربع و محیط آن ۱۴۲ کیلومتر می‌باشد. سد مهاباد یک سد خاکی - سنگریزه‌ای با هسته رسی می‌باشد که برای مقاصد آبیاری، شرب و کشاورزی، کنترل سیلاب‌های فصلی و تأمین انرژی برقایی احداث شده است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و سد مخزنی مهاباد در شکل ۱ نشان داده شده است. آب خروجی از سد در مسیر رودخانه از داخل شهر عبور کرده و پس از آبیگری دو ایستگاه پمپاژ از رودخانه وارد سد انحرافی پایین دست می‌شود. بعد از انحراف آب به کانال‌های اصلی، مازاد آن سرریز شده و نهایتاً به دریاچه ارومیه می‌ریزد. سیستم آبی رودخانه مهاباد به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است.

روش کار

در ابتدا آمار و اطلاعات لازم از ایستگاه‌های هیدرومتری و تبخیرسنجی محل سد مهاباد جمع‌آوری شد که شامل داده‌های ماهانه جریان ورودی به سد با دوره آماری ۳۲ سال (۱۳۵۴ تا ۱۳۸۵)، ارتفاع تبخیر خالص از سطح دریاچه سد، نیاز آبی شرب و کشاورزی پایین دست سد و حداکثر میزان خروجی از مخزن براساس شرایط نرمال، خروجی سد و ورودی به نیروگاه جهت تولید برق می‌باشند. سپس آنالیز آماری لازم بر روی داده‌ها انجام شد. در ادامه تابع هدف مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و محدودیت‌های مسئله بهینه‌سازی مخزن تعریف شدند و سپس تحلیل حساسیت متغیرهای الگوریتم ژنتیک به منظور انتخاب دقیق این متغیرها انجام شد و در نهایت با اجرای مدل بهینه‌سازی مذکور مقادیر رهاسازی ماهانه و حجم بهینه مخزن سد مهاباد با در نظر گرفتن سناریوهای تعریف شده تعیین شدند.

آنالیز آماری داده‌های جریان

به منظور انجام آنالیز آماری در ابتدا داده‌های جریان ورودی به سد از نظر همگنی و تصادفی بودن مورد بررسی قرار گرفت. جهت انجام تست همگنی داده‌ها از روش جرم مضاعف ۴ استفاده شد. برای انجام این تست از داده‌های جریان ورودی به سد ایستگاه‌های بوکان و شهرچای استفاده گردید (شکل ۳).

تست

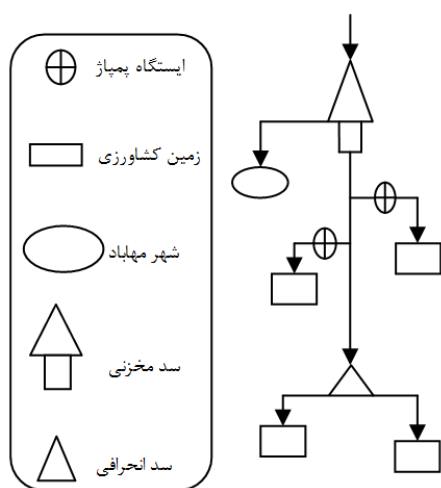
تصادفی بودن داده‌های جریان نیز با استفاده از آزمون ران تست ۵ در نرم‌افزار SPSS مورد پردازش قرار گرفت. این آزمون صحت تصادفی بودن داده‌های جریان را در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان می‌دهد که در جدول (۱) ارائه شده است (Alizadeh, 2007).

از یک مخزن چند منظوره در هند نشان دادند که مدل GA نتایج خوبی بدست می‌دهد که این امر بستگی به انتخاب دقیق متغیرهای مدل GA دارد. Samandizade, Adib and Ahmadianfar (2011) بهره‌برداری بهینه از مخزن سد امیرکبیر را به روش الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی پویا برای سناریوهای مارکوفی و سری مشاهداتی انجام دادند. نتایج نشان داد که الگوریتم ژنتیک در تمامی سناریوها توانایی ارائه نتایج بهتری را دارد. Adeyemo (2011) با توجه به تحقیقات انجام گرفته کارایی الگوریتم‌های کاوشی در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که الگوریتم‌های کاوشی روش‌های خوبی برای حل مسائل چند بعدی، پیچیده و غیر خطی مخازن سد هستند. Asfaw and Saiedi (2011) مدل کوتاه مدت بهره‌برداری از مخزن سد را با استفاده از الگوریتم ژنتیک به کار بردند. نتایج با مدل سولور ۳ در اکسل مقایسه شد و مشخص شد که سیاست بهره‌برداری مدل الگوریتم ژنتیک بهتر از مدل سولور می‌باشد.

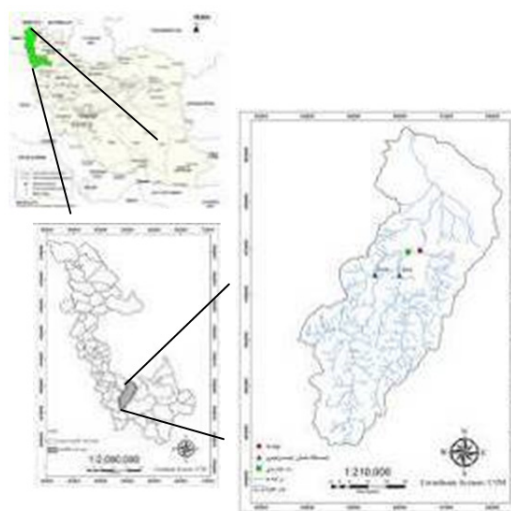
الگوریتم ژنتیک

بهینه‌سازی در مفهوم کلی، به معنای رسیدن به هدف مطلوب براساس محدودیت‌ها و قیدهای در نظر گرفته شده برای آن است. الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های جدید بهینه‌سازی است که بیشتر برای بهینه‌سازی مسائل بسیار پیچیده و غیر خطی به کار می‌رود. اساس این روش بر مبنای فرآیند تکامل است. به عبارت دیگر این روش با تولید نسل‌های (مجموعه جواب‌ها) متعدد از جواب‌های امکان‌پذیر، سعی می‌کند به سوی جواب بهینه حرکت کند. در علم بیولوژی تولید نسل توسط یک سری کروموزوم صورت می‌گیرد که به صورت رشته کدگذاری می‌شوند و هر کروموزوم نیز از یک سری ژن تشکیل می‌شود که نشان دهنده خصوصیات ژنتیکی آن موجود است. در الگوریتم ژنتیک، یک جمعیت اولیه از جواب‌ها به طور تصادفی انتخاب می‌شوند. ارزیابی هر یک از جواب‌ها براساس تابع هدف و محدودیت‌ها انجام می‌گیرد. از جامعه تولید شده اولیه تعدادی از کروموزوم‌های برتر (جواب بهتر) که مقدر تابع هدف (تابع برازش) آن‌ها در مسائل حداکثرسازی بیشتر و در مسائل حداقل سازی کمتر است، به عنوان کروموزوم‌های والد برای تولید نسل بعد انتخاب می‌شوند، سپس این کروموزوم‌ها به طور تصادفی در دسته‌های دو تایی قرار گرفته و نسل‌های بعد را تولید می‌کنند.

در فرآیند بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک از عملگرهای مختلفی استفاده می‌شود که شامل عملگرهای انتخاب، ترکیب و جهش می‌باشند. انتخاب کروموزوم‌های والد توسط عملگر انتخاب به چندین روش یکنواخت احتمالی، مسابقه و غیره انجام می‌شود. در فرآیند تولید مثل بخش‌های از اطلاعات ژنتیکی دو کروموزوم با هم معاوضه می‌شوند. این عملیات از طریق عملگر ریاضی ترکیب انجام می‌شود. این عملگر عموماً بخش‌هایی از کروموزوم والد را به صورت تصادفی انتخاب و با هم جایجا می‌کند. انجام عمل ترکیب به صورت احتمالی بوده و مقدار احتمال آن معمولاً بیش از ۰/۷ است. برای جلوگیری از همگرایی جواب‌های مدل بهینه‌سازی به نقاط بهینه موضعی، مقادیر برخی از ژن‌های کروموزوم‌های حاصل از فرآیند ترکیب به صورت



شکل ۲- نمودار شماتیک سیستم آبی رودخانه مه‌آباد

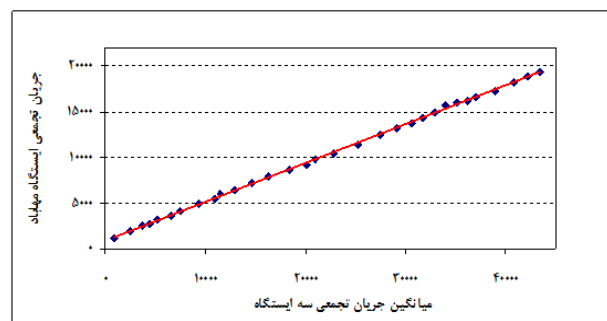


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- تست تصادفی بودن داده‌های جریان

تست تصادفی بودن داده‌ها	
-------------------------	--

حد مجاز	مقدار محاسبه شده
---------	------------------



شکل ۳- نمودار تست همگنی داده‌های جریان در سایت مه‌آباد

$$A_t = \theta + \psi \left(\frac{S_t + S_{t-1}}{2} \right) \quad (2)$$

که در آن S_t : حجم مخزن به میلیون مترمکعب و θ : ضرایب ثابت رگرسیونی می‌باشند.

که با استفاده از اطلاعات مربوط به حجم و سطح مخزن سد مه‌آباد معادله رگرسیونی به صورت زیر کالیبره شد (Mohammadpoor, 1999).

$$A_t = 3.303 + 0.038 \left(\frac{S_t + S_{t-1}}{2} \right) \quad (3)$$

ضریب همبستگی رابطه ۳، ۰/۹۸۵ می‌باشد.

به منظور آمادگی سیستم در شرایط بحرانی از خشکسالی میزان جریان ورودی به سد با احتمال کاهشی نسبت به میانگین واقعی ماهانه در ۵ سناریوی مختلف $k=0, 0.25k, 0.5k, 0.75k$ و $0.95k$ براساس رابطه (۴) تعیین شد.

$$I_t = \bar{I}_t + K(SD)_t \quad (4)$$

که در آن I_t ورودی مخزن در هر ماه، میانگین جریان ورودی ۳۲ ساله در ماه t ، $(SD)_t$ میزان انحراف از معیار جریان ورودی در ماه t . همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور دارای بالاترین مقادیر تقاضای آبی شرب و کشاورزی بوده و این مقادیر بیش از میانگین جریان ورودی به مخزن در این ماه‌ها می‌باشد و همچنین حداکثر جریان زمانی اتفاق می‌افتد که تقاضای پایین دست کم است. حداکثر میزان خروجی از مخزن براساس شرایط نرمال خروجی سد و ورودی به نیروگاه جهت تولید برق برای ۶ ماه اول و دوم به ترتیب ۵۳/۵۷ و ۵۱/۸۴ میلیون مترمکعب در ماه می‌باشد.

مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک

تابع هدف

در مسائل مربوط به مخزن، تابع هدف معمول جهت بهینه‌سازی

در ادامه ارتفاع تبخیر خالص ماهانه دریاچه سد براساس معادلات زیر تعیین شد (Saberchenari, 2011)، که در آن ارتفاع تبخیر خالص تابعی از سطح مخزن، ارتفاع تبخیر هر ماه و بارندگی می‌باشد جدول (۲).

$$E_t = \frac{A_t(e_t - P_t)}{1000} \quad (1)$$

که در آن E_t : ارتفاع تبخیر خالص ماهانه دریاچه سد به میلی‌متر e_t : ارتفاع تبخیر از دریاچه در ماه t به میلی‌متر، P_t : ارتفاع بارندگی روی دریاچه به میلی‌متر، A_t : سطح مخزن در ماه t (کیلومتر مربع) که A_t با معادله زیر بیان می‌شود:

نظر، T : تعداد دوره‌های بهره‌برداری، N : تعداد مخازن، Z : هدفی است که باید بیشینه یا کمینه شود، R_{it} و S_{it} به ترتیب میزان رهاسازی و حجم ذخیره مخزن i در دوره t می‌باشد. تابع هدف در این تحقیق در برگیرنده اختلاف مقدار رهاسازی با نیاز پایین دست با توجه به برقراری معادله پیوستگی می‌باشد.

سیستم مخازن می‌تواند به صورت زیر نشان داده شود:

$$Z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T f S_i R_i \quad (5)$$

که در آن اندیس i : جهت مشخص نمودن شماره مخزن، t : دوره مورد

جدول ۲- متغیرهای هیدرولوژیک تعیین شده سایت مهاباد بر حسب میلیون متر مکعب

ماه	میانگین جریان ورودی به سد	ارتفاع تبخیر خالص	نیاز آبی پایین دست	حداکثر خروجی از سد
فروردین	۹۷/۱۳	۵۰/۸۸	۶/۹۲	۵۳/۵۷
اردیبهشت	۵۵/۸۸	۱۵۶/۳۹	۲۷/۰۴	۵۳/۵۷
خرداد	۱۰/۹	۲۷۴/۹۱	۳۳/۰۱	۵۳/۵۷
تیر	۲/۴۷	۳۲۱/۵۲	۲۹/۶۴	۵۳/۵۷
مرداد	۱/۱۴	۳۱۴/۳	۳۰/۷۴	۵۳/۵۷
شهریور	۰/۹	۲۴۲/۵	۲۶/۸	۵۳/۵۷
مهر	۱/۳۴	۱۲۰/۵	۲۰/۶۷	۵۱/۸۴
آبان	۷/۸۵	۴۰/۷۷	۹/۱۱	۵۱/۸۴
آذر	۱۱/۰۳	-	۱/۵۳	۵۱/۸۴
دی	۱۶/۲۸	-	۱/۴۳	۵۱/۸۴
بهمن	۲۰/۹۸	-	۱/۴	۵۱/۸۴
اسفند	۵۴	-	۱/۴۴	۵۱/۸۴

پایین دست در این تحقیق شامل نیاز آبی کشاورزی و شرب می‌باشد. مدل بهینه‌سازی مورد نظر برای مدت ۲۴ ماه و با استفاده از دبی میانگین اجرا می‌شود.

پس از تنظیم این تابع مینیمم آن به صورت رابطه (۶) محاسبه خواهد شد:

$$\text{Minimize } F = \sum_{t=1}^{t=24} (R_t - D_t)^2 + \sum_{t=1}^{n=24} (S_t - S_{t+1} + I_t - R_t - E_t)^2 \quad (6)$$

متغیرهای تصمیم

تعداد متغیرهای تصمیم بخاطر اینکه برای ۲۴ ماه سال انجام می‌گیرد برابر با ۴۸ می‌باشد. که شامل ۲۴ متغیر برای مقدار رهاسازی و ۲۴ متغیر برای حجم ذخیره مخزن می‌باشد.

که در آن R_t : مقدار خروجی در ماه t ، D_t : نیاز پایین دست سد در ماه t ، S_t : مقدار ذخیره در هر ماه، I_t : مقدار ورودی به مخزن سد در هر ماه t ، E_t : مقدار تبخیر خالص از سطح دریاچه در هر ماه t . نیاز آبی

شروع شده و تا ۶۵۰ افزایش داده شد (جهت نمایش بهتر تغییرات نمودار اندازه جمعیت (محور X)، از مقادیر ۵۰ تا ۲۰۰ صرف نظر شد). مقدار تابع هدف نیز از ۴۲۵۲٫۸۶ تا ۳۶۸٫۷۳ کاهش یافت. تا جمعیت ۴۵۰، روند کاهش تابع هدف چشمگیر بوده اما با افزایش بیشتر اندازه جمعیت تغییر چشمگیری در مقدار تابع هدف مشاهده نشد. از این رو اندازه بهینه جمعیت ۴۵۰ تعیین شد (شکل ۴). یکی دیگر از پارامترهای مهم در الگوریتم ژنتیک نرخ ترکیب می‌باشد. شکل ۵ تحلیل حساسیت نرخ ترکیب و کمترین مقدار تابع هدف از نرخ ترکیب ۰٫۷۵ را نشان می‌دهد. پارامتر جهش باعث ایجاد گوناگونی بیشتر در جمعیت شده و محدوده جستجوی الگوریتم را برای یافتن راه‌حل گسترش می‌دهد. در این مطالعه از توزیع گوسین به منظور انجام جهش استفاده شد. انحراف معیار این توزیع با استفاده از دو پارامتر مقیاس ۶ و انقباض ۷ تعیین می‌شوند. پارامتر مقیاس، انحراف معیار را در نسل اول تعیین می‌کند. پارامتر انقباض نحوه کوچک شدن مقدار انحراف معیار را با پیشرفت نسل‌ها تعیین می‌کند (Saberchenari, 2011). مقادیر دو پارامتر مقیاس و انقباض با انجام تحلیل حساسیت به ترتیب ۱/۹ و ۰/۸ در نظر گرفته شده است (شکل ۶ و ۷). تابع ترکیب مدل GA یکنواخت تصادفی و تعداد تکرارهای اجرای مدل ۲۵۰۰ انتخاب شدند.

جدول ۱- آمار بارندگی و درجه حرارت ۲۰ ساله در حوزه آب‌بخیز چالوس رود

شاخصه آماری	درجه حرارت	بارندگی
	(درجه سانتی‌گراد)	(میلی‌متر در سال)
حداکثر	۱۵/۶	۵۲۶/۵
میانگین	۱۴/۸	۳۴۱/۵

نتایج و بحث

مدل بهینه شده الگوریتم ژنتیک برای بدست آوردن ۴۸ متغیر با اعمال محدودیت‌های مذکور اجرا شد. ۲۴ متغیر مربوط به مقادیر رهاسازی ماهانه و ۲۴ متغیر دیگر نیز مربوط حجم ذخیره بهینه مخزن می‌باشند. جدول ۳ مقدار آب رهاسازی حاصل از مدل بهینه شده GA را در ۵ سناریوی تعریف شده نشان می‌دهد که با مقدار نیاز آبی شرب و کشاورزی پایین دست مقایسه شده است. در تمام سناریوها ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد دارای بالاترین حجم رهاسازی می‌باشند. در سناریوهای نرمال ($k=0$) و خشکسالی ($K=0.25$) در تمام ماه‌ها حجم آب رهاسازی حاصل از مدل بهینه شده GA بخوبی قادر به تأمین نیاز آبی پایین دست می‌باشد و بجز در ماه‌های فروردین، آذر، دی، بهمن و اسفند در اکثر ماه‌ها از اتلاف آب نیز جلوگیری شده است که دلیل اتلاف آب را می‌توان مقدار بالای جریان ورودی به سد در ابتدای سال ذکر کرد. مقدار اتلاف آب در $K=0.25$ کمتر از $k=0$ است.

محدودیت‌ها یا قیدهای حاکم بر مسئله

(الف) قید پیوستگی:

که در توضیح آن می‌توان گفت ذخیره آب مخزن در ماه آینده برابر خواهد بود با ذخیره آب مخزن در ماه جاری به علاوه مقدار آب ورودی به مخزن سد منهای مجموع مقادیر خروجی از سد و مقدار تبخیر خالص از سطح دریاچه سد در همین ماه جاری، که در بخش دوم رابطه (۶) نشان داده شده است.

(ب) قید محدودیت حجم مخزن

برای حجم مخزن یک حد بالا و یک حد پایین در نظر گرفته می‌شود. حد پایین متناظر با حجم مرده یا کمینه حجم مخزن در رقوم کمینه بهره‌برداری می‌باشد و حد بالا متناظر با حجم مخزن در رقوم نرمال یا حداکثر ظرفیت مخزن می‌باشد.

$$S_{\min} \leq S_t \leq S_{\max} \quad \forall_t \quad (7)$$

که در آن S_{\min} ، S_{\max} حداقل و حداکثر حجم مخزن برحسب میلیون مترمکعب می‌باشد.

در مورد سد مخزنی مهاباد قید ظرفیت مخزن به صورت زیر است:

$$50 \leq S_t \leq 198.2 \quad t = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad (8)$$

(پ) قید نامنفی بودن رهاسازی:

$$R_t > 0 \quad \forall_t \quad (9)$$

رهاسازی مخزن باید دارای مقادیر مثبت و بزرگ‌تر از صفر در هر ماه باشد.

چون مسئله یک مسئله مقید می‌باشد و GA برای مسائل نامقید است، بنابراین باید تبدیل به یک مسئله نامقید شود. روش‌هایی که تابع هدف و قیدهای آن را داخل یک تابع نامقید تبدیل می‌کنند تابع شبه هدف نامیده می‌شوند. یکی از این روش‌ها استفاده از تابع پنالتی خارجی می‌باشد (Ebrahimifarsangi, 2002). مسئله مذکور را با اضافه کردن تابع پنالتی به تابع هدف به صورت نامقید تعریف شد (رابطه ۱۰)

$$\varphi = F + R_p \sum_{i=1}^n \left[\max \left(\frac{g_i}{G_i} - 1, 0 \right) \right]^2 + R_p \sum_{j=1}^n \left[\max \left(1 - \frac{g_j}{G_j}, 0 \right) \right]^2 \quad (10)$$

که در آن R_p ضریب پنالتی، g_i ، g_j عبارات طرفین قیود نامساوی می‌باشند و همچنین F تابع هدف اولیه می‌باشد.

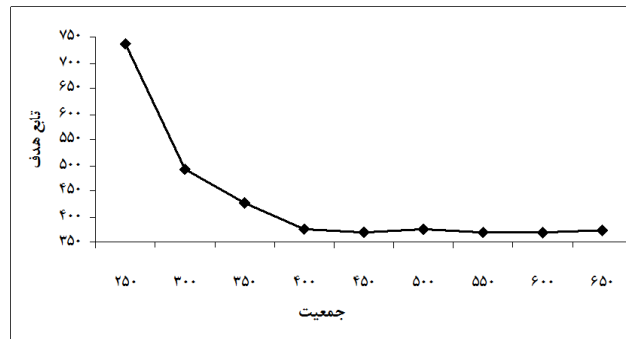
تحلیل حساسیت متغیرهای الگوریتم ژنتیک

انتخاب دقیق برخی متغیرهای الگوریتم ژنتیک از جمله اندازه جمعیت، کسر ترکیب و تابع جهش در زمان رسیدن مدل به جواب بهینه تأثیر زیادی دارد (Mathr and Nikam, 2009). از این رو تحلیل حساسیت پارامترهای مدل الگوریتم ژنتیک به منظور تعیین بهترین مقادیر انجام شد. اندازه جمعیت زیاد اگر چه باعث حفظ تنوع بیشتر و احتمال رسیدن به جواب بهینه را افزایش می‌دهد اما از طرفی باید مدت زمان بیشتری صرف بهینه‌سازی مسئله گردد. به منظور انجام تحلیل حساسیت اندازه جمعیت، مقدار اولیه آن از ۵۰

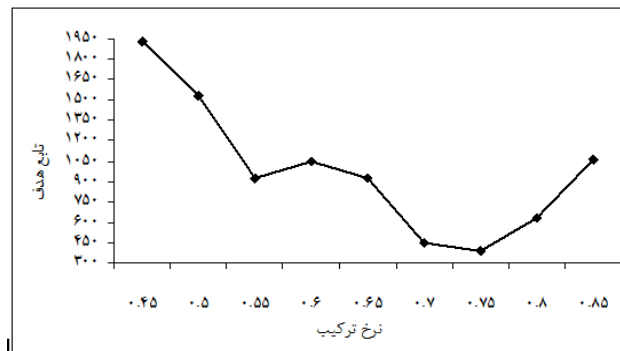
در ۲ سناریوی ($K=0.5$) و ($K=0.75$) مقدار آب رهاسازی محاسبه شده توسط مدل بهینه شده GA در طی ۲۴ ماه قادر به تأمین نیاز آبی شرب و کشاورزی پایین دست بخصوص در شش ماه اول سال با تقاضای آبی بالا، می‌باشد. در ($K=0.5$) بجز بهمن ماه در ۱۲ ماه اول و ماه‌های دی و اسفند در ۱۲ ماه دوم اتلاف آب چشمگیری صورت نگرفته، اما در $K=0.75$ تلفات آب به صفر رسیده که انطباق نمودارهای حاصل از نیاز آبی پایین دست و حجم آب رهاسازی حاصل از مدل بهینه شده حاکی از این مطلب می‌باشد که با نتایج تحقیق (2009Mathrand and Nikam) و (2011Asfawand and Saiedi) مطابقت دارد (شکل ۸). اما در سناریوی آخر خشکسالی ($K=0.95$) مقدار آب رهاسازی حاصل مدل به استثنای چند ماه، که قادر به تأمین کامل (صد در صدی) نیاز آبی پایین دست نمی‌باشد، در سایر ماه‌ها انطباق خوبی با تقاضای آبی پایین دست نشان می‌دهد. حجم ذخیره بهینه محاسبه شده برای سد مخزنی مهاباد در شکل ۹ نشان داده شده است. در ۴ سناریوی مطالعه شده بیشترین و کمترین حجم ذخیره بهینه به ترتیب مربوط به ماه‌های اردیبهشت و آبان می‌باشد. به طور کلی هر چه از سناریوی ($K=0$) به ($K=0.95$) نزدیک می‌شویم، حجم ذخیره بهینه بدست آمده در ماه‌های مختلف کاهش می‌یابد. در تمام سناریوهای تعریف شده، حجم بهینه مخزن در حدود تعیین شده می‌باشد. در ۴ سناریو اول مخزن ذخیره مناسبی برای تأمین نیاز آبی پایین دست و همچنین سایر اهداف در نظر گرفته شده در محل سد از جمله تأمین نیاز برقایی دارا می‌باشد که با نتایج تحقیق (2009Mathrand and Nikam) مطابقت دارد. می‌توان گفت تغییرات حجم مخزن در سناریوهای تعریف شده چشمگیرتر از تغییرات مقدار آب رهاسازی حاصل از مدل بهینه شده GA می‌باشد، به طوری که در سناریوی آخر ($K=0.95$) به دلیل کاهش زیاد جریان ورودی به سد، ذخیره مخزن با توجه به قاعده پیوستگی، بخصوص در ماه‌هایی کهنی از آبی پایین دست بالاست، کاهش چشمگیری یافته است.

نتیجه‌گیری

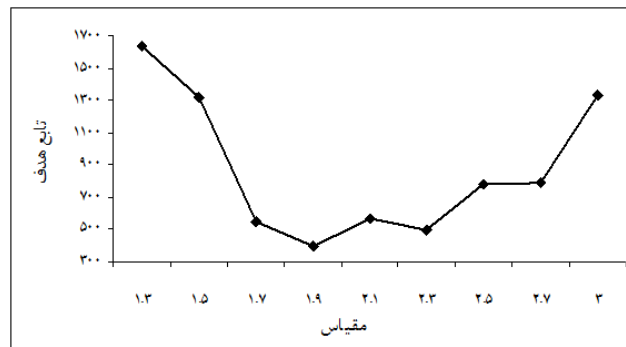
در این تحقیق از مدل الگوریتم ژنتیک به منظور بهره‌برداری بهینه از سد چندمنظوره مهاباد در ۵ سناریوی مختلف نرمال و خشکسالی استفاده شد. به منظور آمادگی سیستم سد مخزنی مهاباد در شرایط بحرانی از خشکسالی، جریان ورودی به سد با یک احتمال کاهشی نسبت به میانگین واقعی ماهانه در نظر گرفته شد. پارامترهای اندازه جمعیت، نرخ ترکیب و همچنین مقیاس و انقباض از تابع جهش پس از انجام تحلیل حساسیت به ترتیب معادل با 450 و 0.75 و 1.9 و 0.8 تعیین شدند. مدل تعریف شده برای یک دوره ۲۴ ماهه با در نظر گرفتن ۴۸ متغیر که ۲۴ متغیر برای مقدار خروجی و ۲۴ متغیر برای حجم ذخیره مخزن می‌باشند، اجرا شد. اگر چه در سناریوهای ابتدایی $K=0$ ، $K=0.25$ ، $K=0.5$ ، $K=0.75$ و مقدار آب رهاسازی حاصل از مدل GA دارای تغییرات چشمگیری نبوده و قادر به تأمین تقاضای آبی پایین دست می‌باشد، اما حجم بهینه مخزن این سناریوها تغییرات بیشتری داشته است. در سناریوی $K=0.95$



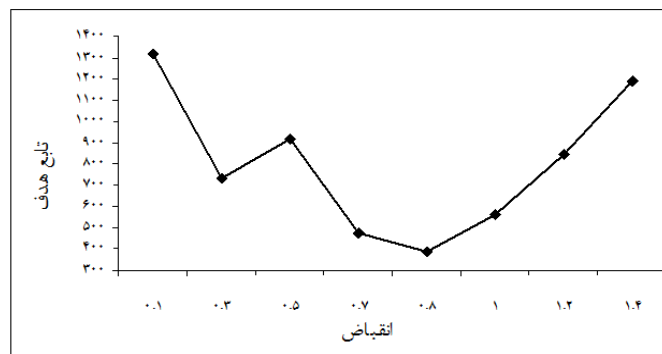
شکل ۴- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر اندازه جمعیت الگوریتم ژنتیک



شکل ۵- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر نرخ ترکیب الگوریتم ژنتیک



شکل ۶- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر مقیاس تابع جهش الگوریتم ژنتیک



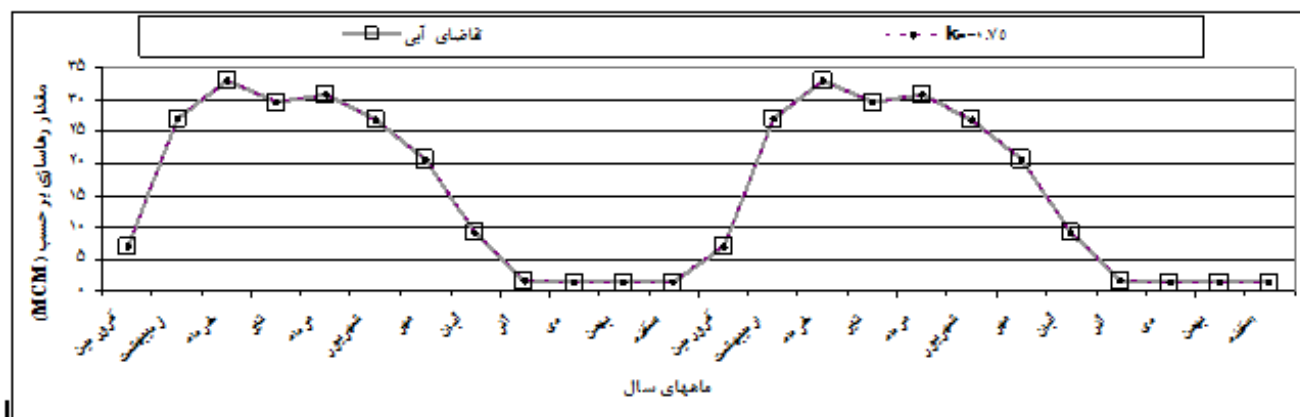
شکل ۷- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر انقباض تابع جهش الگوریتم ژنتیک

۰,۸ تعیین شدند. مدل تعریف شده برای یک دوره ۲۴ ماهه با در نظر گرفتن ۴۸ متغیر که ۲۴ متغیر برای مقدار خروجی و ۲۴ متغیر برای حجم ذخیره مخزن می‌باشند، اجرا شد. اگر چه در سناریوهای ابتدایی $k=0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$ تلافی آب در برخی از ماه‌ها وجود داشته ولی در سناریوهای $k=0.25, 0.5, 0.75, 1$ تلافی آب در سناریوهای رهاسازی حاصل از مدل GA دارای تغییرات چشمگیری نبوده و قادر به تأمین تقاضای آبی پایین دست می‌باشد، اما حجم بهینه مخزن این سناریوها تغییرات بیشتری داشته است. در سناریوی $k=0.95$ به دلیل کاهش زیاد جریان ورودی به سد، مقدار آب رهاسازی و ذخیره بهینه مخزن محاسبه شده توسط مدل GA در برخی از ماه‌ها، جهت تأمین کامل نیاز آبی شرب و کشاورزی پایین دست با مشکل مواجه شده است.

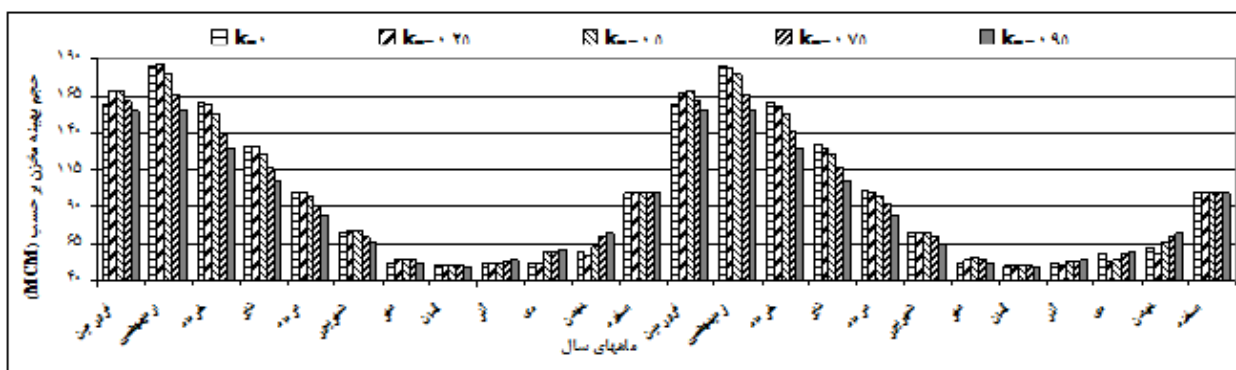
به دلیل کاهش زیاد جریان ورودی به سد، مقدار آب رهاسازی و ذخیره بهینه مخزن محاسبه شده توسط مدل GA در برخی از ماه‌ها، جهت تأمین کامل نیاز آبی شرب و کشاورزی پایین دست با مشکل مواجه شده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از مدل الگوریتم ژنتیک به منظور بهره‌برداری بهینه از سد چندمنظوره مه‌آباد در ۵ سناریوی مختلف نرمال و خشکسالی استفاده شد. به منظور آمادگی سیستم سد مخزنی مه‌آباد در شرایط بحرانی از خشکسالی، جریان ورودی به سد با یک احتمال کاهش نسبت به میانگین واقعی ماهانه در نظر گرفته شد. پارامترهای اندازه جمعیت، نرخ ترکیب و هم‌چنین مقیاس و انقباض از تابع جهش پس از انجام تحلیل حساسیت به ترتیب معادل با ۴۵۰ و ۰,۷۵ و ۱,۹ و



شکل ۸- مقایسه مقدار نیاز آبی شرب و کشاورزی پایین دست سد مه‌آباد و حجم رهاسازی محاسبه شده با استفاده از مدل GA



شکل ۹- حجم بهینه مخزن محاسبه شده استفاده از مدل GA

شکل ۷- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر انقباض تابع جهش الگوریتم ژنتیک

ماه‌های سال	تقاضای آبی پایین دست (MCM)	حجم رهاسازی ۱۲ ماه اول برحسب (MCM)					تقاضای آبی پایین دست (MCM)	حجم رهاسازی ۱۲ ماه دوم برحسب (MCM)				
		k=0	k=-0.25	k=-0.5	k=-0.75	k=-0.95		k=0	k=-0.25	k=-0.5	k=-0.75	k=-0.95
فروردین	۶,۹۲	۳۴,۵۹۸	۱۳,۵۷۹	۶,۹۱۸	۶,۹۵۴	۶,۸۷۱	۶,۹۲	۳۴,۱۱۹	۱۵,۴۳۹	۶,۹۲۷	۶,۹۲۵	۶,۸۷۴
اردیبهشت	۲۷,۰۴	۲۷,۰۵۴	۲۷,۰۵۲	۲۷,۰۴۰	۲۷,۰۳۲	۲۶,۳۲۳	۲۷,۰۴	۲۷,۰۴۸	۲۷,۰۳۵	۲۷,۰۳۷	۲۷,۰۴۰	۲۶,۳۶۰
خرداد	۳۳,۰۱	۳۳,۰۱۵	۳۳,۰۲۱	۳۲,۹۹۹	۳۳,۰۰۸	۳۱,۹۷۶	۳۳,۰۱	۳۳,۰۰۵	۳۳,۰۰۳	۳۳,۰۲۱	۳۲,۹۹۵	۳۱,۹۸۸
تیر	۲۹,۶۴	۲۹,۶۳۳	۲۹,۶۶۰	۲۹,۶۴۷	۲۹,۶۴۰	۲۸,۷۸۵	۲۹,۶۴	۲۹,۶۴۱	۲۹,۶۴۹	۲۹,۶۲۴	۲۹,۶۴۱	۲۸,۸۰۵
مرداد	۳۰,۷۴	۳۰,۷۵۲	۳۰,۷۲۷	۳۰,۷۴۷	۳۰,۷۳۳	۲۹,۸۰۶	۳۰,۷۴	۳۰,۷۵۱	۳۰,۷۲۴	۳۰,۷۳۳	۳۰,۷۳۸	۲۹,۸۱۲
شهریور	۲۶,۸	۲۶,۷۹۸	۲۶,۸۰۵	۲۶,۷۸۶	۲۶,۷۸۴	۲۶,۰۸۸	۲۶,۸	۲۶,۷۹۵	۲۶,۷۹۴	۲۶,۷۸۷	۲۶,۷۹۸	۲۶,۰۷۷
مهر	۲۰,۶۷	۲۰,۶۶۵	۲۰,۶۶۲	۲۰,۶۷۰	۲۰,۶۵۷	۲۰,۲۸۲	۲۰,۶۷	۲۰,۶۸۴	۲۰,۶۵۹	۲۰,۶۷۰	۲۰,۶۷۲	۲۰,۲۲۴
آبان	۹,۱۱	۹,۱۱۳	۹,۱۲۵	۹,۱۰۹	۹,۱۱۲	۹,۰۳۲	۹,۱۱	۹,۱۱۱	۹,۱۲۶	۹,۱۱۱	۹,۱۲۰	۹,۰۱۶
آذر	۱,۵۵	۹,۸۳۹	۷,۰۱۱	۲,۷۰۷	۱,۵۴۸	۱,۵۲۹	۱,۵۵	۸,۳۷۰	۷,۶۲۵	۲,۳۶۱	۱,۵۴۰	۱,۵۳۰
دی	۱,۴۳	۱۴,۹۱۳	۱۲,۳۰۵	۱,۹۸۶	۱,۴۴۳	۱,۴۳۳	۱,۴۳	۱۰,۹۷۶	۹,۴۰۳	۷,۴۰۲	۱,۴۴۵	۱,۴۲۹
بهمن	۱,۴۳	۱۴,۱۰۲	۱۲,۷۹۶	۹,۸۷۳	۱,۴۲۴	۱,۴۰۰	۱,۴۳	۱۶,۷۲۷	۱۳,۲۰۹	۲,۹۱۴	۱,۴۱۸	۱,۳۹۴

