



**Optimization of Water Allocation During
Water Scarcity Condition Using Non-Linear
Programming, Genetic Algorithm and Particle
Swarm Optimization (Case Study)**

*M. Moghaddasi¹, S. Morid²
and Sh. Araghinejad³*

**بهینه سازی تخصیص آب در شرایط کم آبی با استفاده
از روشهای برنامه ریزی غیرخطی، هوش جمعی و
الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی)**

مهنوش مقدسی^۱، سعید مرید^۲
و شهاب عراقی نژاد^۳

Abstract

Water resources limitations, increasing water demands, and occurrence of frequent droughts in our country call for saving water programs and efficient use of available water supply. In this regard the optimization approaches can be an efficient tool. The main objective of this study is the comparison of three optimization approaches including Non-Linear Programming (NLP), Genetic Algorithm (GA), and Particle Swarm Optimization (PSO) when applied to the water allocation management during droughts. These are used to maximize the income in Zayandeh rud irrigation system in Esfahan, Iran during the 1999-2001 drought. Each model considered the four layers; Chadagan dam operation, irrigation networks, crops, and growth stages. Comparison of the results showed that the highest income is obtained by NLP. Furthermore, this optimization method can increase the irrigation network income by about a 36% compared to the traditional managements.

Keywords: Water Allocation Management, Optimization, Non-Linear Programming, Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimization, Drought

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب، افزایش نیازهای آبی و وقوع خشکسالی‌های متناوب، صرفه جویی در مصرف آب و استفاده کارآمد از آن امری لازم و ضروری است که استفاده از تکنیکهای مناسب بهینه سازی در این خصوص می‌تواند راهگشا باشد. در این تحقیق، مقایسه تکنیک‌های مختلف بهینه سازی برنامه ریزی خطی (NLP)^۱، هوش جمعی (PSO)^۲ و الگوریتم ژنتیک (GA)^۳ در مدیریت تخصیص آب کشاورزی در شرایط خشکسالی با حداکثر سازی درآمد، هدف قرار داده شده است. بدین منظور دوره خشکسالی سالهای آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا ۸۰-۱۳۷۹ در شبکه‌های آبیاری زاینده رود اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس مدل‌سازی‌های لازم در چهار لایه که سد چادگان، شبکه‌ها، محصولات و دور آبیاری را در برداشت، توسعه یافت. مقایسه نتایج برتری روش NLP و سپس PSO را نشان داد. ضمن اینکه نشان داده شد که این رویکرد تا ۳۶ درصد امکان افزایش درآمد را نسبت به مدیریت‌های سنتی دارد.

کلمات کلیدی: مدیریت تخصیص، بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی غیرخطی، هوش جمعی، الگوریتم ژنتیک، مدیریت منابع آب در شرایط خشکسالی.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۳ بهمن ۱۳۸۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۱ مهر ۱۳۸۷

1- Ph.D. Candidate, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran.
3- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran.

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

خشکسالی سال‌های اخیر و صدمات سنگین ناشی از آن، بیش از پیش لزوم توجه به این پدیده را افزایش داده است. نمونه بارزی از این خشکسالی‌ها مربوط به دوره ۱۳۷۸ لغایت ۱۳۸۱ بوده که بخش‌های وسیعی از کشور را تحت تاثیر قرار داد. بهترین راه حل برای کاستن از خسارت‌های این پدیده، مدیریت ریسک و استفاده کارآمد از منابع آب محدود در این شرایط می‌باشد.

(1997) Mohan & Arumugam و (2001) Shangguan et al. نشان دادند که این رویکرد می‌تواند تا ۵۰٪ صرفه جویی آب و حداقل رساندن خسارت را به همراه داشته باشد. در این راستا استفاده از مدل‌های بهینه سازی امری اجتناب ناپذیر است. رتو روشهای بهینه سازی را به دو دسته عمده تقسیم نمود. دسته اول روشهای کلاسیک^۴ مبتنی بر ریاضیات و دسته دوم عبارتند از روشهای جستجو یا عددی که شامل جستجوی مستقیم و غیرمستقیم می‌باشند. در روشهای کلاسیک و جستجوی غیرمستقیم، تابع هدف می‌بایست تابعی پیوسته و مشتق پذیر باشد، و در روشهای جستجوی مستقیم مانند پرش تصادفی، الگوریتم‌های مختلفی برای جستجوی نقطه به نقطه در فضای متغیرها بکار می‌رود (Rao, 1984).

در بسیاری از مسائل مهندسی، تابع اهداف دارای چندین نقطه بهینه موضعی و یک نقطه بهینه سراسری است که روشهای کلاسیک به راحتی قادر به تفکیک بین آنها و یافتن نقطه بهینه سراسری نمی‌باشند. علاوه بر آن در قالب مسائل عملی، تابع اهداف ممکن است منفصل و یا همراه با تغییرات ناگهانی باشند که روشهای کلاسیک و غیرمستقیم عموماً از حل آنها عاجز می‌باشند. روشهای جستجوی مستقیم هم ممکن است در مسائل کوچک با تعداد متغیرهای محدود موثر باشند، اما در عمل در شرایطی که متغیرهای تصمیم زیاد باشند و دامنه آنها بزرگ باشد کارائی مناسبی نخواهند داشت (Rao, 1984).

بدین منظور در چند سال اخیر محققین زیادی برای رفع این مشکل رو به هوش مصنوعی آورده اند. از جمله این روشها می‌توان به محاسبات تکاملی^۵ مانند الگوریتم شبیه سازی انیل (SA)^۶، GA و PSO اشاره نمود (Back et al., 1997). روشهای مذکور با الهام گرفتن از طبیعت، مجموعه‌ای از نقاط و یا جمعیت را در فضای جوابها در نظر گرفته و در جهات مختلف برای پیدا کردن جواب بهینه، مدل را سوق می‌دهند (Michalewicz, 1994)

مقایسه روشهای کلاسیک و هوش مصنوعی، موضوع بعضی تحقیقات اخیر بوده‌است که در قسمت ذیل به برخی از آنها اشاره می‌گردد. در تحقیقی (1994) East & Hall از GA و برنامه‌ریزی پویا برای حل یک مسئله چهار مخزنی، با هدف حداکثر نمودن سود تولید برق و تامین آب آبیاری و با در نظر داشتن محدودیت‌های ذخیره و خروجی از سد استفاده نمودند. آنان برتری GA را نسبت به مدل برنامه‌ریزی پویا در تامین نیازها گزارش نمودند. کارآموز و همکاران (۱۳۸۳) برای تخصیص بهینه آب به چهار منطقه کشاورزی در جنوب تهران، مدلی براساس برنامه ریزی پویا (DP) تهیه نمودند. اهداف این مدل تامین نیاز آب کشاورزی، کاهش هزینه‌های پمپاژ، کنترل نوسانات سطح آب زیرزمینی در منطقه کشاورزی بود. آنها به منظور ارزیابی دقت نتایج، مدل دیگری براساس الگوریتم ژنتیک (GA) توسعه و نتایج ایندو را با هم مقایسه نمودند. Kumar et al. (2006) نیز جهت بهینه کردن عملکرد یک مخزن سد تک منظوره برای آبیاری گیاهان زراعی، الگوریتم ژنتیک (GA) را با برنامه ریزی خطی (LP) مقایسه کردند. تابع هدف حداکثر نمودن عملکرد نسبی گیاهان در کل بود. در مدل آنها جریان ورودی به مخزن، بارندگی، رقابت درون فصلی گیاهان برای آب، میزان رطوبت موجود در خاک، غیریکنواختی خاک‌ها و ضریب حساسیت گیاه بکار گرفته شده بود. نتایج تحقیق نشان داد که عملکرد GA با برنامه‌ریزی خطی (LP)^۷ در توزیع آب بین مراحل مختلف رشد تفاوت چندانی ندارد.

در میان الگوریتم‌های تکاملی، روش PSO نیز به تازگی مورد توجه قرار گرفته است. شوربان و موسوی (۱۳۸۵) برای برنامه ریزی بهینه تخصیص منابع آب در سطح حوضه آبریز سیروان با اهداف انتقال آب، شوربان و همکاران (۱۳۸۵) برای بهره برداری بهینه از سد برقابی بختیاری این تکنیک را استفاده و گزارشاتی مبتنی از آن ارائه نمودند. در این راستا مقایسه GA و PSO نیز توجه محققینی را به خود جلب کرده است. Kumar & Reddy (2007) روشهای GA، PSO و EMPSO^۸ را برای استخراج سیاست‌های بهره برداری در مخازن چند منظوره به کار بردند. این تکنیک برای مخزن چند منظوره Bhadra واقع در هند بکار رفت. با توجه به اهداف این مخزن، هدف ماکزیم نمودن تولید برق و مینیمم کردن کمبود آب آبیاری می‌باشد. نتایج نشان داد که EMPSO نسبت به PSO و GA نتایج بهتری در استخراج سیاست‌های بهره برداری از مخازن دارد. در تحقیق دیگری (2006) Jung & Karney برای بهینه نمودن اندازه و جایگزینی وسایل هیدرولیکی در یک شبکه لوله به منظور کنترل واکنش‌های زودگذر از دو روش GA و PSO استفاده نمودند. حداقل کردن ماکزیم ارتفاع، حداکثر کردن مینیمم ارتفاع و

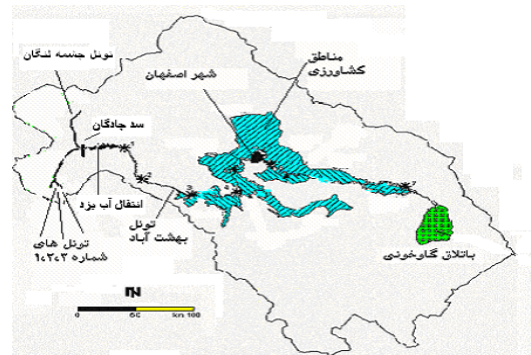
مینیمم کردن اختلاف بین ماکزیمم و مینیمم ارتفاع در سیستم به عنوان سه تابع هدف در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد که این دو روش نسبتاً یکسان عمل کرده است.

با توجه به موارد فوق، هدف این مقاله مقایسه روشهای بهینه سازی کلاسیک برنامه ریزی غیرخطی و نوع تکاملی شامل GA و PSO برای تخصیص بهینه منابع آب می باشد. همچنین تلاش خواهد شد تا عملکرد آنها در رسیدن به جواب سراسری و سرعت عمل بررسی و ارزیابی گردد. این مقایسه در یک واقعه خشکسالی که بیشترین نیاز به تخصیص بهینه منابع را دارد، انجام خواهد گرفت و برای آن خشکسالی شدید سالهای آبی ۷۸-۱۳۷۷ لغایت ۸۰-۱۳۷۹ و شبکه های آبیاری مجاور رودخانه زاینده رود در نظر گرفته شده است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه مطالعاتی

رودخانه زاینده رود با مساحت حوزه آبریز ۴۱۵۰۰ کیلومتر و طول ۳۵۰ کیلومتر از کوه های زاگرس سرچشمه گرفته و به باتلاق گاوخونی ختم می گردد. بر روی این رودخانه سد مخزنی چادگان با حجم کل ۱۴۶۰ میلیون متر مکعب احداث شده است (شکل ۱).



شکل ۱- شماتیک منطقه مطالعاتی

در پائین دست سد و در طول این رودخانه، شبکه های کشاورزی، صنایع، شهرها و روستاها از آب آن بهره برداری می کنند. مهم ترین شبکه های کشاورزی به ترتیب از بالا به طرف پائین دست شامل مهیار، نکوآباد راست و چپ، برخوار، آبشار راست و چپ، رودشت و تعدادی شبکه های کوچک می باشند. در این تحقیق الگو و سطح زیرکشت محصولات زراعی در شبکه های فوق نیاز بوده، که اطلاعات مربوط در جدول ۱ ارائه شده است (Murray-Rust et al., 2004).

۲-۲- چهارچوب مدل بهینه سازی

هر مسئله بهینه سازی، شامل دو بخش مدل سازی و برنامه ریزی می باشد. بخش مدل سازی شامل تشکیل تابع هدف و قیودات مربوط، بر اساس روابط فی ما بین متغیرها به صورت معادلات و یا نامعادلات است. در بخش برنامه ریزی، روش جستجو به منظور تعیین شرایط بهینه در رسیدن به مقدار مطلوب تابع هدف انجام می گیرد.

۲-۲-۱- مدل سازی

مدل سازی طراحی شده برای سیستم آب کشاورزی زاینده رود، شامل چهار زیر مدل بطور مجزا است که ایده اولیه آن از کار تحقیقاتی (Shangguan et al., 2002) می باشد، با این تفاوت که در این تحقیق زیرمدل سد نیز اضافه و امکان بهینه سازی چند سال پی در پی، به آن افزوده شد. در ادامه به تشریح مختصر مدل ها اشاره می گردد:

• زیر مدل اول: بهینه سازی توزیع آب در طول فصل

رشد بین گیاهان

در این قسمت از محاسبات، کل آب مصرفی هر محصول در فصل رشد در دوره های ۱۰ روزه (دور آبیاری) به صورت بهینه توزیع می شود. تابع هدف این مدل حداکثر نمودن عملکرد واقعی محصول در هکتار بوده که بصورت ذیل می باشد:

$$MAX : \frac{Y_{ac}}{Y_{max_c}} = 1 - \sum_{g=1}^n Ky_g \left(1 - \frac{ETa_{c,g}}{ET_{max_{c,g}}}\right) \quad (1)$$

در این رابطه $ETa_{c,g}$ تبخیر و تعرق واقعی محصول C در مرحله رشد g ($mm/10day$)، $ET_{max_{c,g}}$ حداکثر تبخیر و تعرق محصول C در هر مرحله رشد ($mm/10day$)، Ky_g ضریب حساسیت عملکرد نسبت به تنش آبی برای هر گیاه در هر مرحله رشد، n تعداد مراحل رشد، Y_{ac} عملکرد واقعی محصول C و Y_{max_c} حداکثر عملکرد محصول C (کیلوگرم در هکتار) می باشد (Borgand and Grimes, 1986, Allen et al., 1998, Doorenbos and Kassam, Doorenbos and Pruitt, 1984, 1977):

• زیر مدل دوم: بهینه سازی توزیع آب بین

محصولات مختلف در یک شبکه

این قسمت تخصیص بهینه کل آب را در یک شبکه بین محصولات مختلف عهده دار می باشد. تابع هدف این مدل حداکثر نمودن سود حاصل از همه محصولات در یک شبکه بوده که بصورت ذیل می باشد:

جدول ۱- سطح زیر کشت محصولات مختلف زراعی در شبکه‌های کشاورزی حوزه زاینده رود (هکتار)

نام محصول / نام شبکه	گندم	جو	برنج	یونجه	چغندر قند	سیب زمینی
نکوآباد راست	۵۱۲۲	۲۶۶۹	۳۶۴۵	۱۷۴۷	-*	
نکوآباد چپ	۱۲۴۷۹	۴۷۳۶	۳۱۹۲	۴۹۷۲	۱۴۹۳	
مهیار	۱۵۴۲۱	۶۲۷۱	-	۱۴۶۰	۸۴۸	
برخوار	۱۰۹۷۴	۲۲۵۲	-	۲۵۱۲	۲۷۸۹	
آبشار راست	۷۸۸۴	۱۲۲۴	-	۲۰۸۳	۱۳۷۹	
آبشار چپ	۱۳۶۱۲	۲۸۰۰	-	۳۱۲۳	۳۴۶۸	
رودشت	۲۸۷۷۱	۹۲۴۱	-	۴۱۵۶	-	۴۸۳۲
سیستم‌های کوچک	۱۹۶۰۵	۱۵۴۶۷	-	۳۷۴۱	۱۱۸۷	-

$$MAX \left\{ \sum_{y=1}^Y F_y(Q) \right\} \quad (۴)$$

که در آن y تعداد سالها و $F_y(Q)$ تابع عملکرد هر سال به ازای آب تخصیص یافته است. برای محاسبه $F_y(Q)$ مدل سوم برای هر سال و به ازای دبی‌های مختلف در واقع مقادیر گوناگون آب خروجی از مخزن اجرا گردید تا تابع عملکرد برای هر سال بدست آید.

۲-۲-۲- برنامه ریزی

با توجه به اهداف تحقیق، بخش بهینه سازی بر اساس LP، NLP، GA و PSO انجام می‌شود. قابل ذکر است بهینه سازی با روشهای LP و NLP با استفاده از نرم افزار Lingo 9 و برای سه تکنیک باقیمانده برنامه‌های در محیط MATLAB و FORTRAN تهیه شده است.

• برنامه‌ریزی خطی (LP) و غیرخطی (NLP)

برنامه ریزی خطی جز روشهای کلاسیک بهینه سازی می‌باشد. این روش یکی از روشهای بهینه‌سازی مسائلی است که روابط بین متغیرها کاملاً متناسب و مستقیم باشد. به عبارتی تابع هدف و توابع قید، توابعی خطی از متغیرهای طراحی باشند. یک مسئله برنامه‌ریزی خطی را می‌توان به شکل استاندارد زیر بیان کرد:

$$F(x) = \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad j=1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{k=1}^n a_{jk} x_k = b_j \quad i=1, 2, \dots, n$$

$$x_i \geq 0$$

یکی از ویژگی‌ها و مزیت‌های مهم این روش آن است که یک جواب کمینه یا بیشینه موضعی در آن، یک جواب سراسری می‌باشد. حال اگر تابع هدف و توابع قیدها، توابع غیرخطی از متغیرهای طراحی باشند، برنامه ریزی از نوع غیرخطی می‌باشد.

$$MAX \left\{ \sum_{k=1}^K F_K(Q_K) A_K Y_{max k} P_K \right\} \quad (۲)$$

که در آن k تعداد محصولات، $F_K(Q_K)$ تابع عملکرد بین حداکثر عملکرد نسبی و آب تخصیص داده شده، A_K : سطح کشت (ha)، Y_{MAXK} حداکثر محصول و P درآمد محصول k است. $F_K(Q_K)$ از زیر مدل قبل برآورد می‌گردد. بدین منظور مدل اول برای هر محصول و به ازای دبی‌های مختلف اجرا گردید تا عملکرد آن به ازای دبی‌های مختلف تعیین و سپس تابع عملکرد هر محصول بدست آید.

• زیر مدل سوم: بهینه سازی توزیع آب بین شبکه‌های مختلف

در این قسمت کل آب رها شده از مخزن سد به صورت بهینه بین شبکه‌ها توزیع می‌شود. تابع هدف این مدل حداکثر نمودن سود حاصل از کل شبکه‌ها می‌باشد:

$$MAX \left\{ \sum_{n=1}^N F_n(Q_n) \right\} \quad (۳)$$

در رابطه فوق n تعداد شبکه‌ها و $F_n(Q_n)$ تابع عملکرد هر شبکه به ازای آب تخصیص یافته است. برای محاسبه $F_n(Q_n)$ مدل دوم را برای هر شبکه و به ازای دبی‌های مختلف اجرا گردید تا تابع مربوط بدست آید.

• زیر مدل چهارم: بهره برداری بهینه از مخزن سد (بهینه سازی توزیع آب بین سالهای مختلف)

در این قسمت، آب بطور بهینه بین این سه سال توزیع می‌گردد. تابع هدف این مدل حداکثر نمودن سود حاصل از جریان خروجی از مخزن طی این سه سال بوده که بصورت ذیل می‌باشد:

• برنامه‌ریزی با استفاده از الگوریتم تکاملی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک (GA)

روش ژنتیک عبارت است از یک جستجوی چند جانبه موازی، هدایت شده بر اساس نظریه تکامل که با شبیه سازی فرآیندهای بقای اصلح در علم زیست شناسی، اقدام به یافتن متکامل ترین پاسخ یک مسئله می‌نماید. در نظام طبیعی موجوداتی که شایستگی بالاتری دارند، امکان بقاء و تولید مثل بیشتری پیدا می‌کنند و پس از چندین نسل نیز به درجه شایستگی بالاتری می‌رسند. فرآیند طبیعی انتخاب اصلح با ترکیب عملگرهای ژنتیک مانند به‌گزینی^۹، تلاقی^{۱۰} و جهش^{۱۱} صورت می‌پذیرد. در مدل ریاضی روش ژنتیک، هر کدام از این عملگرها شبیه سازی می‌شوند (Glodberg, 1989).

• برنامه‌ریزی با استفاده از الگوریتم تکاملی مبتنی بر هوش جمعی (PSO)

الگوریتم PSO شبیه سازی یک رفتار دسته جمعی است که ایده اصلی آن از نحوه حرکت دسته پرندها و ماهیان نشأت گرفته است (Kennedy and Eberhart, 1995). این الگوریتم مانند سایر تکنیک‌های محاسباتی تکاملی، از یک جمعیت که شامل راه حل‌های بالقوه مسئله تحت بررسی است، جهت اکتشاف در فضای جستجو استفاده می‌کند. ایده اصلی در این الگوریتم اینست که در هر دسته از موجودات فوق، هر عضو می‌تواند از مشاهدات و تجربیات تمام اعضا در حین جستجو برای رسیدن به هدف سود جوید. گرچه این روش مانند الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه سازی بر مبنای جمعیت می‌باشد، اما تفاوت آن در این است که هر ذره دارای یک بردار سرعت می‌باشد که مسئول تغییر دادن موقعیت آن ذره به منظور اکتشاف در بین جوابها موجود است. اگر فضای جستجو، یک فضای D بعدی باشد، ذره I از جمعیت با بردار D بعدی $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$ ، سرعت (تغییر مکان) این ذره با بردار D بعدی $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$ ، بهترین مکان دیده شده تا بحال توسط ذره i بصورت $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$ و بهترین ذره در کل جمعیت با اندیس g نشان داده می‌شود. جمعیت ذرات مطابق با دو معادله زیر به حرکت واداشته می‌شوند (Eberhart and Shi, 1998):

(۵)

$$V_{id}^{n+1} = \chi(\omega v_{id}^n + c_1 r_1^n (p_{id}^n - x_{id}^n) + c_2 r_2^n (p_{pg}^n - x_{id}^n))$$

$$x_{id}^{n+1} = x_{id}^n + v_{id}^{n+1} \quad (۶)$$

که در این روابط $i=1,2,\dots,N$ و $d=1,2,\dots,D$ برابر با اندازه جمعیت، n شماره تکرار، ω وزن اینرسی، C_1, C_2 دو ثابت مثبت،

بنامهای ضرایب شناخت و اجتماعی، χ فاکتور انقباض (می‌تواند مانند ω برای محدود کردن سرعت بکار رود) و r_1, r_2 اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت بین [۰ و ۱] می‌باشند.

در محاسبات فوق، برای هر تکرار از الگوریتم با استفاده از مقادیر بدست آمده برای متغیرهای تصمیم مساله، محاسبات مدل شبیه سازی صورت گرفته و با تعیین مقادیر بهینه متغیرها با توجه به مقدار تابع هدف بدست آمده، مقادیر جدید متغیرها با استفاده از معادلات (۵) و (۶) بدست آورده می‌شوند. این روند تا رسیدن به یک تعداد تکرار ماکزیمم و یا تکرار شدن جواب بهینه عمومی در چندین تکرار متوالی ادامه می‌یابد.

• مدل سازی الگوریتم‌های تکاملی

برای مدل سازی سیستم در الگوریتم‌های تکاملی سه زیر مدل مورد استفاده قرار گرفت. زیر مدل اول و سوم آن همان زیر مدل اول و چهارم قسمت مدل سازی و زیر مدل دوم ترکیب زیر مدل دوم و سوم قسمت مدل سازی است. با توجه به تابع هدف و قیودات برای زیر مدل اول، سوم آن همان روشهای قبلی، و برای زیر مدل دوم از PSO و GA استفاده شده است.

۳- نتایج

همانطوری که قبلا گفته شد هدف از این تحقیق تخصیص بهینه منابع آب طی سه سال خشکسالی سالهای ۷۸-۱۳۷۷ لغایت ۸۰-۱۳۷۹ و ارائه قابلیت‌های هر یک از روشهای بهینه سازی در این خصوص بود که برای آن دو سناریو به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که تفاوت سناریوها در نحوه محاسبه خروجی از سد چادگان بوده و توزیع آب بین شبکه‌ها و محصولات در هر دو سناریو مشترک می‌باشد:

الف: در سناریو اول با توجه به تابع عملکرد هر سه سال و ماکزیمم نمودن درآمد کل این دوره و تعداد متغیرهای آن فقط از تکنیک NLP استفاده کرده و مقدار بهینه خروجی برای هر سال محاسبه گردید.

ب: برای سناریو دوم در هر سال بطور جداگانه و تنها با استفاده از یک رابطه پیوستگی ساده، مقدار خروجی از سد برآورد شد.

لازم به ذکر است که در طول محاسبات، آب مورد نیاز شرب و صنعت (۳۰۰ MCM) و برنج (بر مبنای ۱۷۰۰ میلیمتر در هکتار برابر MCM) (۱۱۶/۲۹) بطور کامل اختصاص داده شده و در محاسبات بهینه‌سازی وارد نشده است. همچنین در ادامه، نتایج تکنیک‌های مختلف و در

کنار هم ارائه شده‌اند تا مقایسه و ارزیابی آنها بطور مطلوب تری قابل انجام باشد.

۳-۱- سناریو اول

برای بهتر دنبال نمودن این سناریو، مراحل آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مراحل سناریو اول

تکنیک بهینه سازی				مدل
اجرای اول	اجرای دوم	اجرای سوم	اجرای چهارم	
NLP	NLP	NLP	NLP	زیر مدل چهارم: مدل بهره برداری بهینه از مخزن سد
SPSO	PSO	GA	NLP	زیر مدل سوم: بهینه‌سازی آب بین شبکه‌ها
			NLP	زیر مدل دوم: بهینه سازی توزیع آب بین محصولات مختلف در یک شبکه
LP	LP	LP	LP	زیر مدل اول: بهینه سازی توزیع آب در طول فصل رشد

در ادامه، زیر مدل چهارم، خروجی زیر مدل سوم را به عنوان تابع سود مخزن در نظر گرفته و با توجه به جریان ورودی سالیانه به سد (به ترتیب برای سه سال برابر ۹۷۷/۱۴، ۹۰۹/۸۷ و ۷۶۹/۰۵ میلیون مترمکعب)، آب را بطور بهینه بین این سه سال به بخش کشاورزی تخصیص داده که برابر ۶۸۳/۱۸ میلیون مترمکعب برای هر سه سال خواهد بود. مجددا تاکید می‌گردد که یکسان بودن شرایط اقلیمی سه سال و تابع عملکرد آنها، باعث تخصیص یکسان آب طی این دوره می‌شود.

بدین ترتیب بر اساس مدل سوم و آب اختصاص یافته به بخش کشاورزی، سهم آب به هر شبکه در فصل زراعی و سپس با استفاده از مدل دوم، سطح زیر کشت محصولات و آب اختصاص یافته به هر محصول تعیین می‌گردد. در جدول ۵ و اشکال ۳ و ۴ خلاصه‌ای از نتایج این عملیات گسترده را به ترتیب برای سهم آب هر شبکه، آب تخصیصی به هر محصول و تراکم کشت را بر اساس تکنیک NLP ارائه می‌دهند. قابل ذکر است که مدل نهایتا نتوانست به جواب بهینه سراسری برسد و این یکی از انگیزه‌های اصلی در استفاده از تکنیک‌های دیگر در این تحقیق بود.

بدین ترتیب با استفاده از تکنیک‌های قبل مقدار آب بهینه به هر محصول تعیین می‌شود و سپس، برنامه آبیاری طی مراحل مختلف رشد با دور آبیاری ۱۰ روزه تعیین می‌شود که امکان ارائه جزئیات آن میسر نیست و تنها در زیر به عنوان نمونه عمق آبیاری محصول گندم در شبکه نکوآباد راست ارائه شده است (جدول ۶).

۳-۱-۲- اجرای دوم : GA

همانطور که قبلا گفته شد در مدل‌سازی این تکنیک زیر مدل اول و سوم همان زیر مدل اول و چهارم قسمت مدل‌سازی بوده و برای حل آنها از روشهای قبلی استفاده شده است. همچنین زیر مدل دوم و سوم معرفی شده در قسمت مدل‌سازی، با یکدیگر ترکیب و به عنوان زیر مدل دوم برای این قسمت در نظر گرفته شده که برای حل آن از GA استفاده گردید. این زیر مدل دارای ۱۱۰ متغیر تصمیم و تابع هدف آن حداکثر نمودن درآمد کل شبکه‌ها است.

بعد از آنالیز حساسیت و تکرارهای متعدد، جمعیت ۸۰۰، ماکزیمم تکرار ۳۰۰۰، $P_c = 0.35$ و $P_m = 0.01$ تعیین گردید. جدول ۵ و اشکال ۳ تا ۴ توزیع آب بین شبکه‌ها، گیاهان مختلف و سطح زیر کشت را بر این اساس نشان می‌دهد.

۳-۱-۱- اجرای اول: LP و NLP

برای این بخش در ابتدا زیر مدل اول برای هر محصول به ازای دبی‌های مختلف اجرا و سپس با استفاده از دبی‌های متفاوت و عملکرد متناظر آنها، تابع عملکرد هر محصول محاسبه گردید. با توجه به اینکه این توابع کاملا تابع شرایط آب و هوایی و بخصوص دمای سالیانه است، لذا مشابهت شرایط آب و هوایی و دما در آن سه سال (۷۸-۱۳۷۷ تا ۸۰-۱۳۷۹) سبب شده که این توابع یکسان گردند. نتایج این بخش برای محصولات متفاوت در جدول ۳ ارائه شده است. در مرحله بعد، بر اساس تابع عملکرد محصولات مختلف درون یک شبکه (خروجی زیر مدل اول)، مدل دوم ساخته و این مدل به ازای دبی‌های متفاوت اجرا گردید تا تابع عملکرد شبکه‌ها محاسبه شود (جدول ۴). در ادامه نیز مدل سوم براساس تابع عملکرد شبکه‌ها و به ازای دبی‌های مختلف خروجی از مخزن اجرا و سپس با استفاده از دبی‌های متفاوت و سود متناظر آنها، تابع سود مخزن در هر سال تهیه گردید که نتایج مربوط در شکل ۲ آمده است. مشروح این محاسبات در مرجع مقدسی وهمکاران (۱۳۸۶) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۳- معادله تابع عملکرد محصولات غالب در حوضه زاینده رود برای دوره خشکسالی مورد مطالعه (خروجی زیر مدل اول)

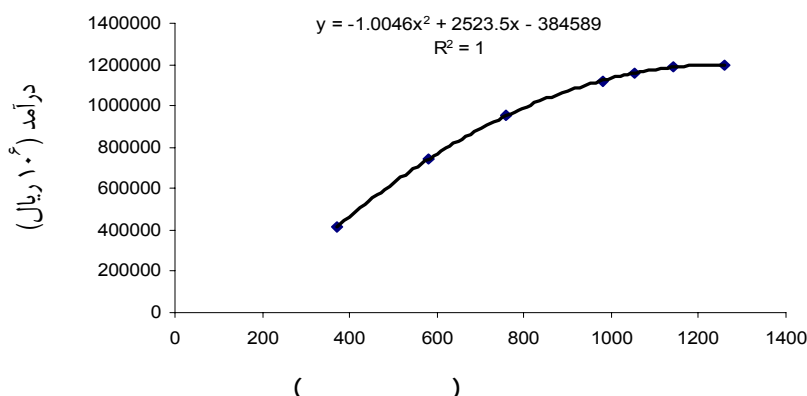
معادله تابع عملکرد	نام محصول
$F(h) = -2/8 \times 10^{-6} h^2 + 0.0358716h - 0.11634068$	گندم
$F(h) = -3 \times 10^{-6} h^2 + 0.04579 h - 0.3734248$	جو
$F(h) = -5/4 \times 10^{-6} h^2 + 0.015355 h - 0.12920852$	چغندر قند
$F(h) = -1/58 \times 10^{-6} h^2 + 0.0384788 h - 1/3513246$	سیب زمینی
$F(h) = -0.6 \times 10^{-6} h^2 + 0.482 h + 0.461$	یونجه (چین اول)
$F(h) = -1/3 \times 10^{-6} h^2 + 0.2846h - 0.52408$	یونجه (چین دوم)
$F(h) = -3/2 \times 10^{-6} h^2 + 0.1494 h - 0.743821$	یونجه (چین سوم)
$F(h) = -3/435 \times 10^{-6} h^2 + 0.1601092 h - 0.86340989$	یونجه (چین چهارم)

* در این معادلات h آب اختصاص یافته در کل دوره رشد آن محصول (mm/ha) است.

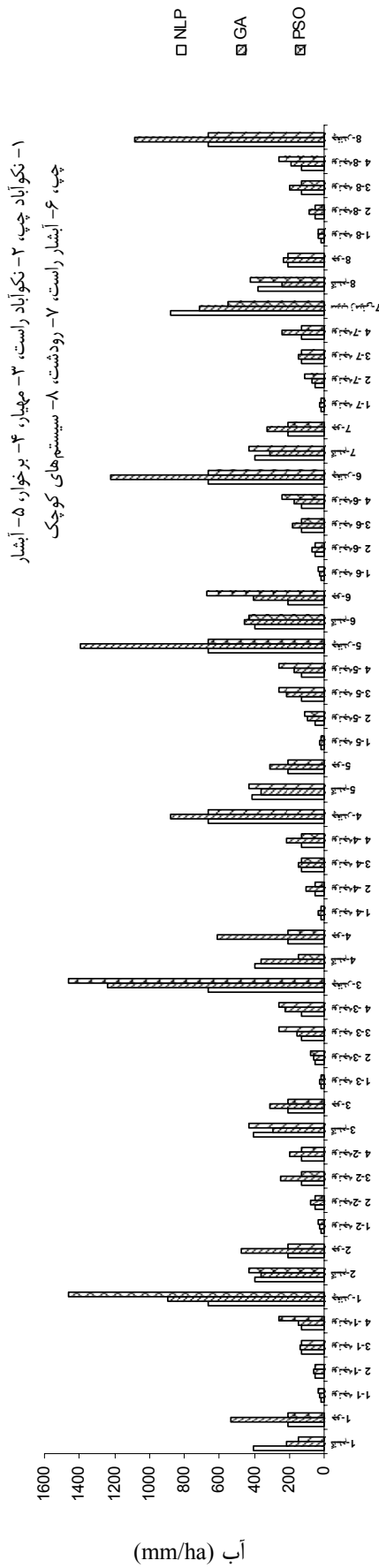
جدول ۴- معادله تابع عملکرد شبکه‌های حوضه زاینده رود برای دوره خشکسالی مورد مطالعه (خروجی زیر مدل دوم)

معادله تابع عملکرد	نام شبکه
$F(h) = -8/4 \times 10^{-6} h^2 + 2520 h - 5/10 \times 10^{-10}$	نکوآباد چپ
$F(h) = -2/2449 \times 10^{-6} h^2 + 2459/2 h - 1/6297 \times 10^{-10}$	نکوآباد راست
$F(h) = -8/596 \times 10^{-6} h^2 + 2535h - 3/713 \times 10^{-10}$	مهیار
$F(h) = -9/835 \times 10^{-6} h^2 + 2494h - 3/948 \times 10^{-10}$	برخوار
$F(h) = -8/476 \times 10^{-6} h^2 + 2624 h - 5/413 \times 10^{-10}$	آبشار چپ
$F(h) = -1/6213 \times 10^{-6} h^2 + 2635/5 h - 2/718 \times 10^{-10}$	آبشار راست
$F(h) = -4/43 \times 10^{-6} h^2 + 2700 h - 1/05 \times 10^{-10}$	رودشت
$F(h) = -4/5 \times 10^{-6} h^2 + 2200h - 5/4 \times 10^{-10}$	سیستم‌های کوچک

* در این معادلات h آب اختصاص یافته به هر شبکه بر حسب متر مکعب است.

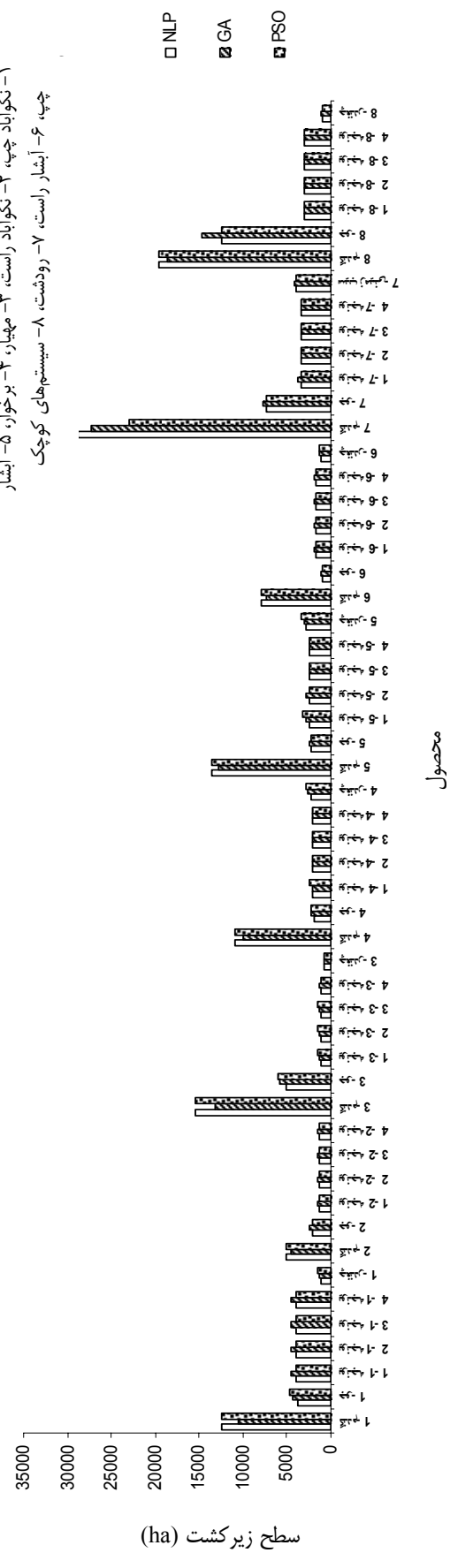


شکل ۲- تابع سود پائین دست حاصل از آب اختصاص یافته از مخزن سد چادگان به بخش کشاورزی برای دوره خشکسالی مورد مطالعه (خروجی زیر مدل سوم)



۱- نکوآباد چپ، ۲- نکوآباد راست، ۳- مهیار، ۴- برخوار، ۵- آبشار چپ، ۶- آبشار راست، ۷- رودشت، ۸- سیستم‌های کوچک

شکل ۳- حداکثر آب مورد نیاز هر محصول زراعی و توزیع آب بین آنها در شبکه‌های کشاورزی حوزه زاینده رود با استفاده از تکنیک‌های مختلف بهینه سازی برای دوره خشکسالی مورد مطالعه (سناریو اول)



۱- نکوآباد چپ، ۲- نکوآباد راست، ۳- مهیار، ۴- برخوار، ۵- آبشار چپ، ۶- آبشار راست، ۷- رودشت، ۸- سیستم‌های کوچک

شکل ۴- تراکم کشت (ha) در شبکه‌های کشاورزی حوزه زاینده رود با استفاده از تکنیک‌های مختلف بهینه سازی برای دوره خشکسالی مورد مطالعه (سناریو اول)

جدول ۵- حداکثر آب مورد نیاز شبکه‌های کشاورزی حوضه زاینده رود و توزیع آب بین آنها با استفاده از تکنیک‌های مختلف بهینه‌سازی (MCM)

بهینه سازی			حداکثر آب مورد نیاز هر شبکه	نام شبکه
PSO	GA	NLP		
۶۹/۴۴	۱۰۴/۳۲	۷۹/۴۵	۱۶۲/۱	نکوآباد چپ
۳۱/۳۵	۳۸/۵۵	۲۹/۲۲	۶۰/۸۲	نکوآباد راست
۹۷/۶۵	۵۳/۶۳	۸۰/۷۳	۱۶۰/۱۶	مهیار
۴۶/۲۷	۶۱/۱۳	۶۸/۴۸	۱۳۹/۳۳	برخوار
۱۰۲/۴۶	۱۰۸/۹۷	۸۷/۱۲	۱۷۳/۲۴	آبشار چپ
۵۷/۳۹	۵۲/۲	۴۵/۹۰	۹۰/۲۷	آبشار راست
۱۴۹/۴۵	۱۵۵/۹۸	۱۷۵/۲۸	۳۲۳/۷۸	رودشت
۱۲۹/۱۹	۱۰۸/۵۳	۱۱۶/۹۹	۲۶۷/۲۹	سیستم کوچک
۶۸۳/۱۸	۶۸۳/۱۸	۶۸۳/۱۸	۱۳۷۶/۹۹	کل موجودی

جدول ۶- عمق بهینه آبیاری شبکه نکوآباد راست در مراحل مختلف رشد محصول گندم (mm/ha) با استفاده از تکنیک‌های مختلف بهینه سازی برای دوره خشکسالی مورد مطالعه

تکنیک	رشد رویشی	گلدهی	شکل گیری عملکرد	رسیدن
NLP	۱۵/۴۲	۹۷/۱۵	۲۸۱/۴۲	.
GA	۱۵/۴۲	۹۷/۱۵	۲۴۶/۴۲	.
PSO	۱۵/۴۲	۱۱۱/۹۸	۳۰۲/۵۸	.

مختلف بر این اساس فقط برای سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ در جداول ۹ تا ۱۱ مشاهده می‌گردد.

۳-۱-۳- اجرای سوم : PSO

مدل‌سازی، تعداد متغیرها و تابع هدف در این قسمت نیز مانند تکنیک قبل و فقط برای حل زیر مدل دوم از PSO استفاده شده است. این تکنیک کاملاً برخلاف روش GA به جمعیت اولیه حساس نیست. بعد از آنالیز حساسیت پارامترهای آن بدین ترتیب تعداد جمعیت ۱۰۰، ماکزیمم تکرار ۳۰۰۰، $c_1 = 0.5$ ، $c_2 = 0.5$ ، $\chi = 1$ ، $\omega_{\max} = 0.1$ و ω_{\min} تعیین گردید. جدول ۵ و اشکال ۳ تا ۴ توزیع آب بین شبکه‌ها، گیاهان مختلف و سطح زیر کشت بر این اساس ارائه شده است.

۳-۲- سناریو دوم

مجدداً برای تشریح بهتر مراحل این سناریو، جدول ۷ ارائه شده است. همانطور که قبلاً گفته شد برای سناریو دوم، هر سال بطور جداگانه و تنها با استفاده از یک رابطه پیوستگی ساده مقدار خروجی آن برآورد شده است (جدول ۸). طبق مقدار خروجی محاسبه شده برای این دوره، مجدداً مراحل سناریو اول برای هر سال تکرار گردید. برای جلوگیری از طولانی شدن مقاله، توزیع آب بین شبکه‌ها و گیاهان

جدول ۷- مراحل سناریو دوم

تکنیک بهینه سازی				مدل
اجرای اول	اجرای دوم	اجرای سوم	اجرای چهارم	
NLP	GA	PSO	SPSO	زیر مدل سوم: بهینه سازی آب بین شبکه‌ها
NLP	NLP	PSO	SPSO	زیر مدل دوم: بهینه سازی توزیع آب بین محصولات در یک شبکه
LP	LP	LP	LP	زیر مدل اول: بهینه سازی توزیع آب در طول فصل رشد

جدول ۸- اطلاعات سال‌های آبی ۱۳۷۹-۸۰ تا ۱۳۷۷-۷۸ (MCM)

سال آبی	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹-۸۰
جریان ورودی	۹۴۴/۱۷	۹۰۹/۸۷	۷۶۹/۰۵
ذخیره مخزن* در ابتدا سال	۸۲۵/۳۳	۲۹۸/۵	۱۵۰/۶
خروجی از سد	۱۰۵۴/۷۷۱	۶۴۱/۵۴۱	۴۳۸/۲۷

* مقدار ذخیره بر اساس آمار و اطلاعات وزارت نیرو در سالهای فوق می‌باشد.

محاسبات این روش بشدت به جمعیت اولیه حساس است. بدین منظور روشهای مختلفی مانند کوچک کردن مسئله و حل ابتدایی آن برای شبکه‌ها بطور مستقل و تولید جمعیت اولیه بر اساس نتایج این اجراها و یا استفاده از نتایج روش قبل (NLP) برای تولید جمعیت اولیه مورد ارزیابی قرار گرفت. اما چون بنابراین بود که از نتایج روش‌های دیگر برای آن استفاده نگردد، نهایتاً تولید جمعیت اولیه بطور تصادفی و کنترل قیودات روی آن از طریق اعمال تابع جریمه (Penalty Function) قبل از ورود به مراحل بعد، انتخاب شد.

۳-۳- ارزیابی روشهای بهینه‌سازی

در این قسمت، مقایسه عملکرد روشهای کلاسیک و تکاملی در بهینه‌سازی تخصیص آب در شرایط مواجهه با کم آبی مورد بررسی قرار می‌گیرد و در آن عملکرد آنها (از لحاظ رسیدن به جواب سراسری، سرعت عمل ...) و رسیدن به بهترین جوابها که متضمن درآمد بیشتر باشد، ارزیابی می‌گردد.

در شکل (۵) نحوه عملکرد روش PSO و GA در تکرارهای مختلف نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که PSO بسیار یکنواخت (همگرایی بیشتر) و در تکرار حدوداً ۱۰۰۰ به بهترین جواب رسیده است. در حالیکه در خصوص GA این تغییرات جوابها بیشتر و در تکرار حدود ۱۶۰۰ به بهترین جوابهای خود می‌رسد. سرعت عمل GA نیز به مراتب کمتر از PSO بود.

۳-۳-۱- مقایسه عملکرد محاسباتی

بررسی‌های این بخش نشان داد که هیچ یک از روشها نتوانستند به جواب سراسری برسند، ولی در رسیدن به بهترین جواب موضعی خود نیز NLP بسیار سریع و PSO علیرغم اتکا به الگوریتم تکاملی، با سرعت مناسبی عمل کرد.

۳-۳-۲- مقایسه درآمد در روشها

اما در رسیدن به بهترین جوابها و درآمد بیشتر، نتایج مربوط در جدول ۱۲ و ۱۳ قابل مشاهده می‌باشد. نتایج مجدداً برتری NLP را نشان می‌دهد و بعد از آن PSO در این خصوص بهتر عمل کرده است. همانطور که قبلاً گفته شد در هر دو سناریو آب کامل شرب، صنعت و برنج تامین شده است. فقط در سناریو دوم و سال آبی ۱۳۷۹-۸۰ که موجودی آب بسیار کم بوده و سبب شده که فقط آب ۲۷ درصد از سطوح برنج تامین گردد.

در روش GA سرعت محاسبات بسیار کند و سعی و خطای زیادی را برای برآورد پارامترهایی مانند P_m و P_c را طلب نمود. از طرفی

جدول ۹- حداکثر آب مورد نیاز شبکه‌های کشاورزی حوضه زاینده رود و توزیع آب بین آنها با استفاده از تکنیک‌های مختلف بهینه‌سازی (MCM) در سال آبی ۱۳۷۷-۷۸

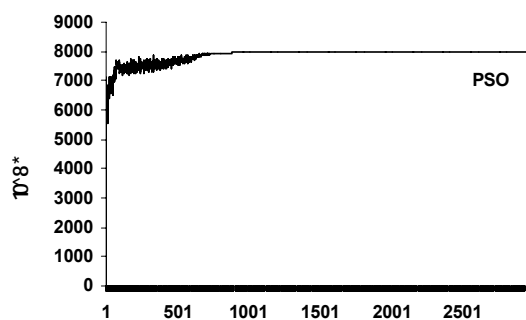
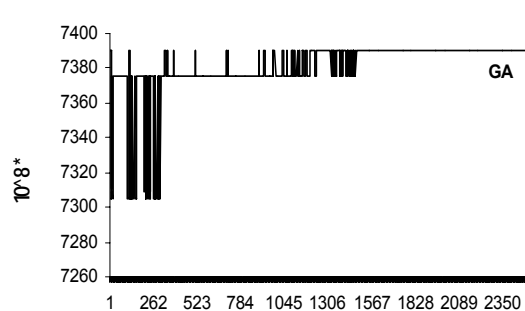
نام شبکه	حداکثر آب مورد نیاز هر شبکه	بهینه سازی		
		PSO	GA	NLP
نکواباد چپ	۱۶۲/۱	۱۲۴/۸۴	۱۲۲/۲۱	۱۵۰/۶۷
نکواباد راست	۶۰/۸۲	۳۶/۵۸	۴۵/۶۸	۵۸/۳۷
مهیار	۱۶۰/۱۶	۱۳۱/۹	۱۲۳/۷۱	۱۰۳/۶۳
برخوار	۱۳۹/۳۳	۱۰۵/۴۷	۱۰۶/۰۴	۱۰۶/۶۱
آبشار چپ	۱۷۳/۲۴	۱۱۰/۴۳	۱۳۰/۷۱	۱۳۹/۵۹
آبشار راست	۹۰/۲۷	۶۶/۳	۶۸/۶۹	۷۰/۲۴
رودشت	۳۲۳/۷۸	۲۸۲/۱۱	۲۵۸/۶۶	۲۶۸/۶۴
سیستم کوچک	۲۶۷/۲۹	۱۹۷/۱	۱۹۹/۰۸	۱۵۷/۰۳
کل موجودی	۱۳۷۶/۹۹	۱۰۵۴/۷۷۱	۱۰۵۴/۷۷۱	۱۰۵۴/۷۷۱

جدول ۱۰- حداکثر آب مورد نیاز شبکه‌های کشاورزی حوضه زاینده رود و توزیع آب بین آنها با استفاده از تکنیک‌های مختلف بهینه سازی (MCM) در سال آبی ۷۹-۱۳۷۸

بهینه سازی			حداکثر آب مورد نیاز هر شبکه	نام شبکه
PSO	GA	NLP		
۷۶/۱۹	۵۷/۶۹	۷۴/۶۶	۱۶۲/۱	نکوآباد چپ
۲۴/۰۲	۲۲/۷۶	۲۷/۳۸	۶۰/۸۲	نکوآباد راست
۷۹/۱	۷۶/۷۶	۷۵/۹۲	۱۶۰/۱۶	مهیار
۶۹/۱۱	۵۸/۰۷	۶۴/۲۷	۱۳۹/۳۳	برخوار
۸۱/۹۸	۸۷/۹۶	۸۲/۲۴	۱۷۳/۲۴	آبشار چپ
۳۱/۹۵	۴۴/۹۹	۴۳/۳۵	۹۰/۲۷	آبشار راست
۱۷۴/۹۴	۱۶۴/۹۱	۱۶۵/۹۳	۳۲۳/۷۸	رودشت
۱۰۴/۲۵	۱۲۸/۳۴	۱۰۷/۷۹	۲۶۷/۲۹	سیستم کوچک
۶۴۱/۵۴۱	۶۴۱/۵۴۱	۶۴۱/۵۴۱	۱۳۷۶/۹۹	کل موجودی

جدول ۱۱- حداکثر آب مورد نیاز شبکه‌های کشاورزی حوضه زاینده رود و توزیع آب بین آنها با استفاده از تکنیک‌های مختلف بهینه سازی (MCM) در سال آبی ۸۰-۱۳۷۹

بهینه سازی			حداکثر آب مورد نیاز هر شبکه	نام شبکه
PSO	GA	NLP		
۶۳/۸۳	۵۱/۷۴	۵۰/۲۲	۱۶۲/۱	نکوآباد چپ
۱۵/۲۲	۱۷/۴۳	۱۷/۹۷	۶۰/۸۲	نکوآباد راست
۵۹/۹۳	۴۶/۲۷	۵۱/۳۵	۱۶۰/۱۶	مهیار
۳۹/۹۶	۴۶/۷۳	۴۲/۸۰	۱۳۹/۳۳	برخوار
۶۹/۸۱	۵۵/۸۷	۵۷/۳۳	۱۷۳/۲۴	آبشار چپ
۲۶/۶۳	۲۹/۳۲	۳۰/۳۳	۹۰/۲۷	آبشار راست
۹۱/۴۲	۱۰۶/۴۷	۱۱۸/۲۷	۳۲۳/۷۸	رودشت
۷۱/۴۸	۸۳/۴۸	۷۰	۲۶۷/۲۹	سیستم کوچک
۴۳۸/۲۷	۴۳۸/۲۷	۴۳۸/۲۷	۱۳۷۶/۹۹	کل موجودی



شکل ۵- مقایسه طرز ارزیابی در روشهای تکاملی PSO و GA

عنوان گزینه مطلوبی در بهینه‌سازی تخصیص آب در شرایط خشکسالی و کمبود مورد استفاده قرار داد.

۳- براساس ابزارهای مورد استفاده در این تحقیق، تجمع زیربرنامه‌های مختلفی که توسعه یافتند، در PSO و GA راحت‌تر از NLP (حداقل در محیط LINGO) بود.

۴- مقایسه درآمد کل در سال آبی ۱۳۷۷-۷۸ نشان داد که درآمد حاصل از اعمال روش بهینه‌سازی در توزیع آب می‌تواند درآمد شبکه‌ها تا ۳۶ درصد نسبت به روش بندی بالا ببرد.

۵- نکته مثبتی که ناشی از روش‌شناسی تحقیق است، تمرکز اقدامات مدیریتی برای مقابله با خشکسالی، تغییر در توزیع آب است تا سطح زیرکشت، لذا مدیریت شبکه‌ها را در این شرایط ساده‌تر می‌کند.

۶- مقایسه نتایج دو سناریوی مورد استفاده در این تحقیق، موید نقش ذخیره‌سازی در سد (خروجی زیر مدل چهارم) و مدیریت منابع آب بین سالی در شرایط خشکسالی است.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Nonlinear Programming
- 2- Particle Swarm Optimization
- 3- Genetic Algorithm
- 4- Deterministic
- 5- Evolutionary Computation
- 6- Simulated Annealing
- 7- Linear Programming
- 8-Elitist-mutation Particle Swarm Optimization
- 9-Selection
- 10- Crossover
- 11- Mutation

لذا در جدول ذیل درآمد کل با در نظر گرفتن تامین کامل آب برنج نیز عنوان شده است. که نشان دهنده اهمیت زیر مدل چهارم در توزیع آب بین سالهای مختلف می‌باشد. لازم به ذکر است که مدیریت سنتی تخصیص آب در شبکه‌های زاینده‌رود و نیش‌بندی (کاستن درصدی خاص از حقابه‌ها)، می‌باشد. این رویکرد نیز در تحقیق مقدسی و همکاران (۱۳۸۶) مورد ارزیابی قرار گرفت که برای سال آبی ۱۳۷۷-۷۸ که مشابه سناریوی دوم بوده، درآمد $10 \times 7/43$ را بدنبال داشته است. در حالیکه با رویکرد این تحقیق $10 \times 1/16$ محاسبه گردید.

۴- نتیجه گیری

تحقیق حاضر تلاشی برای بررسی عملکرد روشهای بهینه‌سازی در مدیریت تخصیص آب کشاورزی در شرایط خشکسالی که شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود و سال‌های آبی ۱۳۷۷-۷۸ لغایت ۸۰-۱۳۷۹ برای ارائه روش‌شناسی تحقیق مورد استفاده قرار گرفته بود. یافته‌های زیر به عنوان نتایج، قابل ارائه می‌باشد:

- ۱- هرچند هیجیک از روشها به جواب سراسری نرسید، ولی NLP و سپس PSO بهترین برنامه تخصیص را که همراه با بیشترین درآمد بود، ارائه دادند.
- ۲- روش GA علی‌رغم سابقه طولانی در مطالعات بهینه‌سازی، در مجموع سرعت کمی را در این تحقیق از خود نشان داد و ضمن اینکه بسیار به جمعیت اولیه حساس بود. در مقابل PSO سرعت بالا و عدم حساسیت مورد اشاره را از خود نشان داد و می‌توان آن را به

جدول ۱۲- درآمد کل (ریال) حاصل از آب اختصاص یافته به بخش کشاورزی با استفاده از تکنیک‌های مختلف بهینه‌سازی

براساس سناریو اول و سناریو دوم

تکنیک	NLP	GA	PSO
سناریو اول			
۱۳۷۷-۷۸	$8/714 \times 10^{11}$	$7/39 \times 10^{11}$	$7/96 \times 10^{11}$
۱۳۷۸-۷۹	$8/714 \times 10^{11}$	$7/39 \times 10^{11}$	$7/96 \times 10^{11}$
۱۳۷۹-۸۰	$8/714 \times 10^{11}$	$7/39 \times 10^{11}$	$7/96 \times 10^{11}$
کل بدون برنج	$2/614 \times 10^{12}$	$2/217 \times 10^{12}$	$2/388 \times 10^{12}$
کل با برنج	$2/65 \times 10^{12}$	$2/254 \times 10^{12}$	$2/425 \times 10^{12}$
سناریو دوم			
۱۳۷۷-۷۸	$1/16 \times 10^{12}$	$1/0.2 \times 10^{12}$	$1/1.2 \times 10^{12}$
۱۳۷۸-۷۹	$8/2 \times 10^{11}$	$7/1 \times 10^{11}$	$7/634 \times 10^{11}$
۱۳۷۹-۸۰	$5/3 \times 10^{11}$	$4/1 \times 10^{11}$	$4/99 \times 10^{11}$
کل بدون برنج	$2/51 \times 10^{12}$	$2/2 \times 10^{12}$	$2/364 \times 10^{12}$

کل با برنج	$۲/۵۴ \times ۱۰^{۱۲}$	$۲/۱۷ \times ۱۰^{۱۲}$	$۲/۳۹ \times ۱۰^{۱۲}$
------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

۵- مراجع

- Glodberg, D. D. (1989). Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison Wesley publishing company Inc.: 401p.
- Jung, B. S. and Karney, B. W. (2006). Hydraulic optimization of transient protection devices using GA and PSO approaches, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol, 132, No. 1: pp.44-52.
- Kennedy, J. and Eberhart, R. C. (1995). Particle swarm optimization, *Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks*: pp.1942-1948.
- Kumar, D. N., Raju, K. S., and Ashok, B. (2006). Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crops using genetic algorithms. *ASCE, J. Irrig. Drain. Eng.* 132(2):pp.123-129.
- Kumar, D. N. and Reddy, J. (2007). Multipurpose reservoir operation using particle swarm optimization, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.133, No. 3: pp. 192-201.
- Mohan, S., and Arumugam, N. (1997). Expert system applications in irrigation management: an overview. *Comput. Electron. Agric.* 17: pp. 263-280.
- Michalewicz, Z. (1999). Genetic Algorithm + Data Structures=Evolution Programs, Springer Press, New York.
- Murray-Rust, H., Droogers, P., and Heyadari, N. (2004). Water for the future –linking irrigation and water allocation in the Zayandeh rud basin, Iran. International Water Management Institute.
- Rao, S. S. (1984). "Optimization Theory and Application", Second edition, John Wiley and Sons: 1247p.
- Shangguan, Z. P., Lei, T. W., Shao, M. A., Jia, Z. K., (2001). Water management and grain production in dryland farming areas of China. *Int. J. Sust. Dev. World Ecol.* 8, in press.
- Shangguan, Z., Shao, M., and Horton, R., (2002). A model for regional optimal allocation of irrigation water resources under deficit irrigation and its applications, *J. Agric. Water Manage.*, 52: pp. 139-154.
- شوریان، م و موسوی، س، ج (۱۳۸۵). برنامه‌ریزی بهینه تخصیص منابع آب در سطح حوضه آبریز با اهداف انتقال آب بین حوضه‌ای، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان.
- شوریان، م، موسوی، س، ج و واحد، س (۱۳۸۵). طراحی و بهره‌برداری بهینه از سد برقابی بختیاری با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر هوش جمعی، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان.
- کارآموز، م (۱۳۸۳). بررسی و ارائه روشهای بهینه مصرف و افزایش راندمان آب در بخش کشاورزی استان تهران، دفتر امور پژوهشی و پشتیبانی علمی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان تهران.
- مقدسی، م، مرید، س، عراقی نژاد، ش و آقا علیخانی، م (۱۳۸۶). مقایسه روش‌های بهینه سازی و ونش بندی در مدیریت تقاضای آب کشاورزی در شرایط خشکسالی، مطالعه موردی: خشکسالی سال آبی ۱۳۷۷-۷۸ در شبکه‌های زاینده‌رود اصفهان، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، در حال بررسی.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. *Irrig. Drain. Paper* 56. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Borgand, H., and Grimes, W. (1986). Depth development of roots with time: an empirical description. *Transactions of the ASAE* 29(1):pp. 194-197.
- Back, T., Fogel, D. and Michalewicz, Z. (1997). *Handbook of Evolutionary Computation*. IOP Publishing and Oxford University Press, New York.
- Doorenbos, J., and Kassam, A. H. (1977). Yield response to water. *Irrig. Drain. Paper* 33. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Doorenbos, J., and Pruitt, W. O. (1984). Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrig. Drain. Paper* 24. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- East, V. and Hall, M. J. (1994). Water resources system optimization using genetic algorithm, *Hydroinformatics, Proc.*, 1st Int. Conf. on Hydroinformatics, Balkema, Rotterdam, Netherlands: pp. 225-231.
- Eberhart, R. C. and Shi, Y. (1998). Comparison between genetic algorithms and particle swarm optimization. In V. W. Porto, N. Saravanan, D. Waagen, and A. E.