

## استفاده از تکنیک‌های محاسبات نرم جهت برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب در زمان خشکسالی

صدیقه انوری<sup>۱</sup>، عصمت راشدی<sup>۲</sup>، صدیقه محمدی<sup>۳</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۱۱/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۵

مقاله پژوهشی

چکیده:

بخش کشاورزی عمده مصرف کننده منابع آب در کشور می‌باشد، لذا اتخاذ تصمیمات مناسب در برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب در این بخش کمک شایانی در جهت مدیریت کارای این منابع می‌کند. هدف تحقیق حاضر آنست تا با استفاده از ابزارهای محاسبات نرم همانند الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم ژنتیک (GA)، مدل‌سازی مقادیر رهاسازی بهینه از مخزن و برنامه‌ریزی آبیاری در شبکه‌های کشاورزی پایین دست سد زاینده رود، تدوین گردد. در این راستا تقویم کشت محصولات، کل آب موجود و زمین قابل کشت در بخش کشاورزی و محدودیت‌های نیاز آبی متغیر محصولات از جمله مهمترین قیود غیر خطی تحقیق حاضر می‌باشند. نتایج حاکی از آن بود که مدل‌سازی یکپارچه PSO با توزیع بهتر کمبودهای آبی بین مراحل مختلف رشد محصولات، توانست سود سیستم را در مقایسه با مقادیر تخصیص به روش سنتی (ونش‌بندی) به طور قابل توجهی افزایش دهد. همچنین با ملاحظه زمان رسیدن به همگرایی و نیز کل سود، مدل PSO عملکرد بهتری نسبت به GA داشته است. در نهایت استفاده از تکنیک‌های محاسبات نرم در برنامه‌ریزی آبیاری، می‌تواند الگوهای موثری برای تخصیص منابع آب کشاورزی در مناطق خشک با منابع آب محدود فراهم کند.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، برنامه‌ریزی آبیاری، بهینه‌سازی، نیاز متغیر کشاورزی.

<sup>۱</sup> استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندس برق، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

<sup>۳</sup> استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

## مقدمه

شرایط اقلیمی حاکم در کشورمان عمدتاً از نوع گرم و خشک بوده که این اقلیم در فلات مرکزی ایران غالب است. بحران‌های آبی در این مناطق، لزوم انجام اقدامات مؤثر جهت ارتقاء بهره‌وری از منابع آب را به خصوص برای بخش کشاورزی بیش از پیش نشان می‌دهد. در این راستا مدیریت سیستم‌های منابع آب، با تأکید بر بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها و تخصیص بهینه آب در شبکه‌های کشاورزی پایین‌دست آنها توصیه می‌شود. تحقیقات گسترده Dudley و همکاران، همچنین Vedula و همکاران در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ از سری مطالعات اولیه‌ای است که در آنها تمرکز اصلی روی ملاحظه نیاز متغیر کشاورزی می‌باشد. این تحقیقات عمدتاً برای مزرعه تک محصولی با سطح کشت معین، با هدف افزایش عملکرد محصول و با به کارگیری رویکردهای کلاسیک بهینه‌سازی شامل مدل برنامه‌ریزی پویا (DP)<sup>۱</sup> انجام شده است. در تحقیقات بعدی استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی LP<sup>۲</sup> و NLP<sup>۳</sup> برای تخصیص سودآور و احتساب نیاز متغیر کشاورزی بطور همزمان مد نظر قرار گرفته است. تحقیقات Ghahraman و Sepaskhah در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ از جمله مطالعاتی است که در راستای ملاحظه این مهم و تخصیص آب بین محصولات در مزارع چند محصوله انجام شد. لازم به ذکر است که در تمامی این موارد مدل تخصیص آب در مزرعه ارتباطی با مدل مخزن نداشته است.

بدلیل ماهیت پیچیده تابع هدف، وجود قیود غیرخطی و تعداد زیاد متغیرهای تصمیم، در سال‌های اخیر استفاده از تکنیک‌های محاسبات نرم (SC)<sup>۴</sup> در برگزیده الگوریتم‌های بهینه‌سازی الهام گرفته از محیط (BIOA)<sup>۵</sup>، رواج یافته است. منطق فازی (FL)<sup>۶</sup> و الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوش جمعی (PSO)<sup>۷</sup>،

الگوریتم ژنتیک (GA)<sup>۸</sup>، الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)<sup>۹</sup> از جمله تکنیک‌های محاسبات نرم می‌باشند. حیبی داویجانی و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از الگوریتم GAPSO برای محدوده مطالعاتی کویر مرکزی، تخصیص منابع آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات را بهینه کردند. نتایج نشان داد که استفاده از الگوهای کم آبیاری، حذف یا تغییر الگو و سطح زیرکشت بعضی از محصولات و نیز استفاده از منابع آبی بیشتر توانست سود سیستم را افزایش دهد. سرگری و قویدل (۱۳۹۶) جهت تخصیص بهینه آب آبیاری در بخش کشاورزی، از یک مدل آرمانی فازی چند هدفه استفاده کردند. ایشان با ملاحظه سه هدف بیشینه-سازی بازده خالص، کمینه‌سازی مصرف آب و مصرف کود سه نوع الگوی بهینه تخصیص منابع آب و زمین را جهت اراضی کشاورزی شهرستان صومعه‌سرا (گیلان) بهینه کردند. نتایج تحقیق ایشان حاکی از آن بود که الگوی موجود مصرف آب آبیاری در منطقه، بهینه نبوده و سطوح زیرکشت باقلا و لوبیا در تخصیص بهینه زمین بایستی افزایش و برنج کاهش یابد. Khanjari Sadati و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی غیرخطی از GA جهت تعیین مقادیر رهاسازی بهینه از مخزن سد درودزن و نیز محاسبه الگوی کشت بهینه در این منطقه اجرا کردند. این مدل توانایی ملاحظه چهار سناریو از سطوح مختلف احتمالاتی بارش، تبخیر-تعرق و جریان ورودی به مخزن را داشت. همچنین دو استراتژی آبیاری شامل آبیاری کامل و کم آبیاری را اعمال نمودند. نتایج نشان داد که برای استراتژی کم آبیاری و نیز تمامی سناریوهای آب و هوایی، درآمد نهایی سیستم و نیز سطوح زیر کشت محصولات، نسبت به حالت آبیاری کامل افزایش داشته است. Li و همکاران (۲۰۱۷) از یک مدل برنامه‌ریزی بهینه‌سازی-شبیه‌سازی غیر دقیق (IFSSOP)<sup>۱۰</sup>، برای تخصیص بهینه

<sup>7</sup> particle swarm optimization

<sup>8</sup> Genetic algorithm

<sup>9</sup> gravity search algorithm

<sup>10</sup> inexact fuzzy stochastic simulation-optimization programming (IFSSOP)

<sup>1</sup> Dynamic Programming

<sup>2</sup> Linear Programming

<sup>3</sup> Non- Linear Programming

<sup>4</sup> Soft Computing

<sup>5</sup> bio-inspired optimization algorithms

<sup>6</sup> fuzzy logic



نرم استفاده شده در تحقیق، فرمول‌بندی تابع هدف و قیود مدل‌سازی یکپارچه برای سیستم مخزن-مزرعه سد زاینده‌رود و شبکه‌های کشاورزی پایین‌دست آن بیان می‌شود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز رودخانه زاینده‌رود با مساحت ۴۱۵۰۰ کیلومتر مربع در فلات مرکزی ایران قرار گرفته است (شکل ۱). میزان بارش و دما در این حوضه به شدت تابع وضعیت توپوگرافی منطقه است، به طوری که در ارتفاعات بالادست در حوضه پلاسجان بارندگی‌های ۱۵۰۰ میلی‌متر، در محدوده سد حدود ۳۵۰ و در انتها (باتلاق گاوخونی) به ۹۰ میلی‌متر می‌رسد. ایستگاه سینوپتیک اصفهان واقع در پایین‌دست سد، دارای طولانی‌ترین دوره آماری است و موقعیت مناسبی را برای معرفی و وضعیت آب و هوایی پایین‌دست و دشت اصفهان دارا می‌باشد. همچنین رودخانه زاینده‌رود با طول ۳۵۰ کیلومتر، مهم‌ترین و حیاتی‌ترین رودخانه فلات مرکزی ایران و استان اصفهان است که جهت تامین آب مورد نیاز بخش شرب، صنعت، کشاورزی استفاده می‌گردد.

منابع آب از دو منبع دریاچه و چشمه در منطقه Hetao چین استفاده کردند. این مدل در برگزیده دو ماژول یعنی مدل‌های نیاز آبی و چرخه آب در مزرعه به‌مراه مدل بهینه‌سازی احتمالاتی برای ملاحظه عدم قطعیت‌های پارامترهای مدل می‌باشد. نتایج نشان داد که مدل نامبرده که فقط برای محصول ذرت اجرا گردید از کارایی خوبی برخوردار می‌باشد.

در مقاله حاضر، مدل بهینه‌سازی یکپارچه بهره‌برداری-تخصیص آب برای سیستم مخزن-مزرعه سد زاینده‌رود و شبکه‌های کشاورزی پایین‌دست آن برای خشکسالی شدید سال ۷۸-۱۳۷۷ منطقه فرمول‌بندی شده است. برای حل این مسأله یکپارچه از تکنیک‌های محاسبات نرم همانند الگوریتم ژنتیک (GA) و بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) استفاده شده است. به دلیل کثرت متغیرهای تصمیم و قیود غیر خطی مسأله، مدل‌سازی تحقیق حاضر از مزایایی برخوردار است که از جمله آن عبارتست از عدم وجود محدودیت در نوع تابع هدف از منظر جمع‌پذیری و جداپذیری، قابلیت حل مسأله یکپارچه با وجود کثرت متغیرهای تصمیم و سهولت احتساب قیود مختلف غیر خطی با تعریف توابع پناستی. در ادامه روش انجام تحقیق شامل شرح مختصری از برخی از تکنیک‌های محاسبات



شکل (۱) شماتیک حوضه و سد زاینده‌رود و موقعیت آن در بین حوضه‌های درجه دوم ایران

### تکنیک‌های محاسبات نرم (SC)<sup>۱</sup>

محاسبات نرم، به مجموعه‌ای از شیوه‌ها و روش‌های جدید محاسباتی در علوم رایانه، هوش مصنوعی، یادگیری ماشینی و بسیاری از زمینه‌های کاربردی دیگر اطلاق می‌شود. در تمامی این زمینه‌ها به مطالعه، مدل‌سازی و آنالیز پدیده‌های پیچیده و گاه غیرقطعی نیاز است که شیوه‌های علمی دقیق در گذشته، در حل آسان، تحلیلی و کامل آنها موفق نبوده‌اند. تکنیک‌های SC از الگوریتم‌های محاسباتی هوشمند شامل منطق فازی (FL)<sup>۲</sup>، شبکه‌های عصبی (NN)<sup>۳</sup> و الگوریتم‌های بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت (BIOA)<sup>۴</sup>، که می‌توانند جهت تولید سیستم‌های هوشمند ترکیبی قدرتمند استفاده شوند، تشکیل شده است (Castillo et al., 2014). در ادامه با استفاده از تعدادی الگوریتم‌های محاسبات نرم شامل الگوریتم بهینه‌سازی جمعیت ذرات (PSO)، الگوریتم ژنتیک (GA) برنامه ریزی بهینه‌سازی و تخصیص آن انجام می‌گیرد.

- بهینه‌سازی جمعیت ذرات (PSO)<sup>۵</sup>: الگوریتم PSO یکی از الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت بوده که از هوش جمعی الهام گرفته شده است. در دسته‌ای از حیوانات که رفتارهای جمعی دارند یک سردسته وظیفه کنترل گروه را به عهده دارد مثل گله کرگدن‌ها و غازها. اما دسته‌ای از حیوانات نیز وجود دارند که بدون داشتن سردسته، کل گروه از درون سامان‌دهی می‌شود مثل انواعی از پرندگان و ماهی‌ها. صاحبان اصلی ایده‌ی الگوریتم PSO جیمز کندی و راسل سی ابره‌ارت بوده که این الگوریتم را در سال ۱۹۹۵ با الهام گرفتن از رفتار پرندگان و ماهیها معرفی کردند (Kennedy and Eberhart, 1995). الگوریتم PSO از مجموعه‌ای از ذرات که هر ذره جوابی از مسئله است، پدید آمده که موقعیت ذره و سرعت آن مطابق روابط جدول ۱ تعیین و بروز رسانی می‌شود.

با افزایش جمعیت و روند رو به رشد تقاضا برای آب و مواد غذایی، بخش کشاورزی در این حوضه، حدود ۷۰٪ کل تقاضای آب پایین دست را داشته است بطوریکه مساله کمبود آب، علاوه بر ایجاد معضلاتی در آبیاری اراضی و سبب، منتج به شور شدن منابع خاک پایین دست حوضه و کاهش کیفیت آب برگشتی به رودخانه شده است. آمار و داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل اطلاعات الگو و تقویم کشت محصولات زراعی منطقه شامل (گندم، جو، چغندر قند، یونجه و سیب‌زمینی)، آمار هواشناسی (شامل بارندگی، دمای حداقل، حداکثر و میانگین، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد) و آمار هیدرومتری جریان ورودی به مخزن سد زاینده‌رود برای خشک‌سالی شدید سال ۱۳۷۷-۷۸ می‌باشد (بانک طرح‌های توسعه منابع آب، ۱۳۸۸).

### برنامه‌ریزی خطی (LP)

برنامه‌ریزی خطی یکی از گسترده‌ترین روش‌های مورد استفاده در مدیریت منابع آب است. در مدل‌های خطی ارتباط بین متغیرهای تصمیم‌گیری چه در تابع هدف و چه در قیدها خطی می‌باشد. فرم کلی یک برنامه‌ریزی خطی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

(۱)

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m c_i x_i$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} x_i \geq b_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

برنامه‌ریزی خطی نسبت به دیگر روشها برتری‌هایی دارد، زیرا برخلاف دیگر روش‌های بهینه‌سازی، حل برنامه‌ریزی خطی در بیشتر برنامه‌های کامپیوتری موجود بوده، همچنین یک جواب کمیته یا بیشینه موضعی در آن، یک جواب سراسری محسوب می‌گردد (Yeh, 1985; Vedula and Mujumdar, 2005).

<sup>۱</sup> bio-inspired optimization algorithms

<sup>۵</sup> particle swarm optimization (PSO)

<sup>۱</sup> Soft Computing

<sup>۲</sup> fuzzy logic

<sup>۳</sup> neural networks

جدول (۱): مجموعه روابط حاکم بر الگوریتم PSO

فرمول	شماره	نام رابطه
$x_i^d(0) \sim U(x_{\min}^d, x_{\max}^d)$	(۲)	موقعیت اولیه هر ذره
$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1)$	(۳)	بروز شدن موقعیت هر ذره
$v_i^d(t+1) = w(t)v_i^d(t) + c_1r_{1i}(t)[pbest_i^d - x_i^d(t)] + c_2r_{2i}(t)[gbest^d - x_i^d(t)]$	(۴)	بروز شدن سرعت ذره بر اساس بهترین فرامحلی
$v_i^d(t+1) = w(t)v_i^d(t) + c_1r_{1i}(t)[pbest_i^d - x_i^d(t)] + c_2r_{2i}(t)[lbest^d - x_i^d(t)]$	(۵)	بروز شدن سرعت هر ذره بر اساس بهترین محلی

استفاده می‌کند. در این روش جهت محاسبه سرعت از رابطه ۴ استفاده می‌شود که از بهترین مقداری که کل جمعیت کشف کرده است (gbest) استفاده می‌کند. در روش بهترین محلی برای به روز رسانی سرعت از رابطه ۵ استفاده می‌شود که از بهترین موقعیتی که همسایگان هر ذره به آن دست پیدا کرده اند (lbest) جهت به روزرسانی استفاده می‌کند. در روابط فوق  $pbest_i$  بهترین موقعیتی است که ذره  $i$  تا کنون به آن دست پیدا کرده است.  $c_1$  و  $c_2$  اعداد ثابت مثبتی هستند که برای وزن دهی به اجزا خودی و جمعی استفاده می‌شود و ضرایب شتاب<sup>۵</sup> نامیده می‌شوند.  $r_{1i}$  و  $r_{2i}$  اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت بین صفر تا یک بوده ( $r_{1i}(t), r_{2i}(t) \sim U(0,1)$ )، خاصیت تصادفی بودن الگوریتم را حفظ می‌کنند.  $W$  پارامتر وزن اینرسی<sup>۶</sup> می‌باشد. معمولاً توزیع اولیه ذرات به گونه ای است که به صورت یکنواخت کل فضا را بپوشاند (Kennedy and Eberhart, 1995; Tripathi et al. 2007). شکل ۲ مراحل محاسباتی در الگوریتم PSO را نشان می‌دهد.

در این راستا موقعیت اولیه هر ذره به صورت تصادفی در فضای جستجو با یک توزیع یکنواخت تعیین می‌شود (رابطه ۲).  $x_{\min}^d$  و  $x_{\max}^d$  به ترتیب حد پایین و حد بالا از بعد  $d$  ام فضای جستجو می‌باشند. در زمانهای بعد موقعیت هر ذره بر مبنای تجربه خودش و نیز همسایگانش تنظیم می‌شود. اگر  $x_i^d(t)$  موقعیت بعد  $d$  ذره  $i$  در زمان  $t$  باشد، موقعیت ذره مطابق رابطه ۳ با جمع شدن با بعد  $d$  سرعت ذره  $i$  در زمان  $t$  یعنی  $v_i^d(t)$  تغییر می‌کند (Kennedy and Eberhart, 1995). در بردار سرعت که وظیفه هدایت ذرات را برعهده دارد، هم تجربه اجتماعی ذرات همسایه و هم تجربه فردی هر ذره دخیل است. در تعریف بردار سرعت، به مولفه‌ای که از تجربه شخصی استفاده می‌کند، جزء فردی<sup>۱</sup> و به بخش منتج از تجربیات همسایه ها، جزء اجتماعی<sup>۲</sup> گفته می‌شود. هر ذره سرعت خود را با ترکیب خطی این دو به روز رسانی می‌کند. در جزء فردی از بهترین موقعیتی که ذره تا کنون به آن دست پیدا کرده و در جزء اجتماعی از بهترین موقعیتی که کل ذرات تا کنون بدان دست پیدا کرده اند، استفاده می‌شود. برحسب چگونگی تعریف همسایگی، دو نوع PSO به نام بهترین محلی<sup>۳</sup>،  $lbest$  و بهترین فرامحلی<sup>۴</sup>  $gbest$  مطرح می‌شود. در نوع بهترین فرامحلی، همسایگی هر ذره، تمام ذرات را در می‌گیرد و جزء اجتماعی از تجربه کل ذرات

<sup>4</sup> Global best.

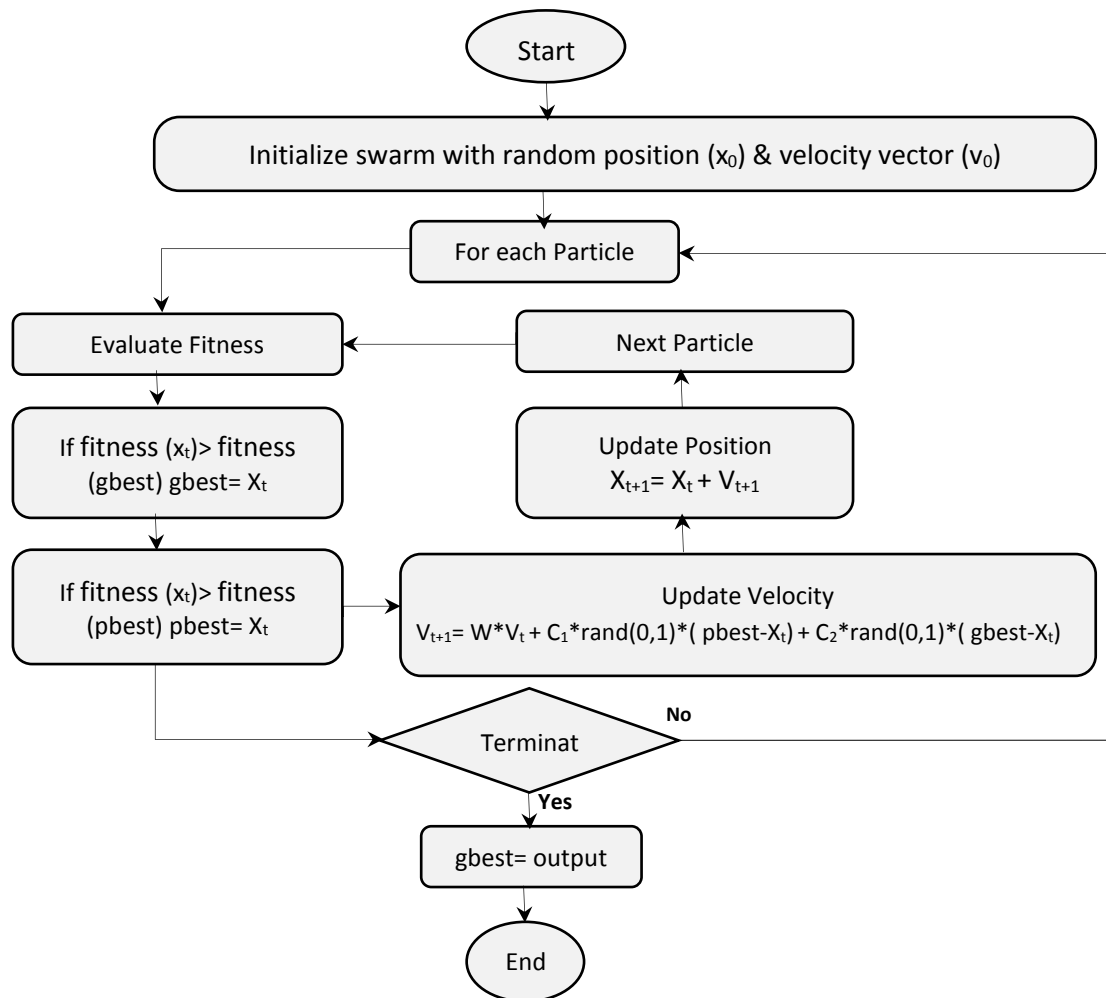
<sup>5</sup> Acceleration constant.

<sup>6</sup> Inertia weight.

<sup>1</sup> Cognitive component.

<sup>2</sup> Social component.

<sup>3</sup> Local best.



شکل (۲): مراحل محاسباتی در الگوریتم PSO

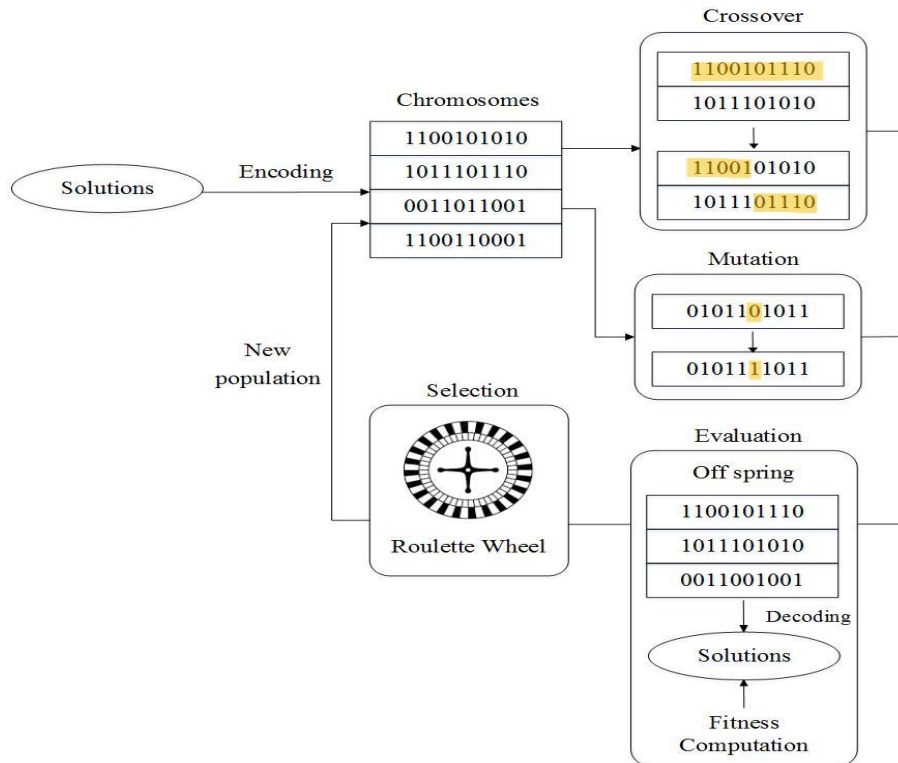
شدن جمعیت حول بهینه موجود: تحت این شرط، چنانچه الگوریتم پس از اینکه فاصله دورترین ذره از بهینه کشف شده از حد معینی کمتر شود، متوقف می شود. این حد به صورت مقیاسی از ابعاد فضا قابل تعریف است. ۵- توقف پس از رشد کم تابع هدف در محل بهینه کشف شده: در این حالت پس از اینکه نرخ تغییر مقدار بهینه در دو تکرار متوالی از حد  $\epsilon$  کمتر شود، الگوریتم متوقف می شود.

الگوریتم ژنتیک (GA): شکل ۳ فلوچارت محاسبات در الگوریتم ژنتیک، الهام گرفته از نظریه تکامل داروین را نشان می دهد (Yeh and Lin, 2007). در علم

کارایی PSO از نوع موقعیت اولیه ذرات تاثیر می پذیرد. اگر جمعیت اولیه قسمتهایی فضا را پوشش ندهد، پیدا کردن بهینه در مناطق فوق د شوار می شود. برای توقف الگوریتم می توان شرایط مختلفی لحاظ کرد. الف- توقف پس از تعداد تکرارهای مشخص: در این مورد الگوریتم پس از تعداد مشخصی از تکرارها متوقف می شود. ب- توقف پس از رسیدن به یک دقت معین: در این مورد الگوریتم پس از کشف جواب با یک دقت معین متوقف می شود. ج- توقف پس از رکود جمعیت: الگوریتم پس از این که با تکرار آن هیچ بهبودی مشاهده نشود متوقف می شود. د- توقف پس از متمرکز

جمعیت اصلح در الگوریتم GA با ترکیب عملگرهای ژنتیکی همانند به‌گزینی<sup>۱</sup>، تلاقی<sup>۲</sup> و جهش<sup>۳</sup> صورت می‌پذیرد.

بیولوژی تولید نسل توسط یک سری کروموزوم در برگزیده مقادیر متغیرهای تصمیم‌گیر به عنوان ژنهای آن کروموزوم به دست می‌آید. فرآیند طبیعی انتخاب



شکل (۳): روند محاسبات در الگوریتم ژنتیک (Yeh and Lin, 2007)

مطابق شکل ۳، ابتدا از جمعیت تولید شده اولیه، کروموزوم‌های برتر با توجه به مقدار تابع هدفشان، به عنوان کروموزوم‌های والد نسل بعد انتخاب می‌شوند (به‌گزینی). سپس کروموزوم‌های انتخابی بصورت احتمالی با یکدیگر تلاقی داده می‌شوند. با ترکیب دو کروموزوم والد، خصوصیات از والدین به فرزندان منتقل می‌شود، در این بین ممکن است با تغییر تصادفی ژنهای بعضی کروموزوم‌ها، جهش ایجاد شود که این عمل نیز با در نظر گرفتن مقدار ثابت احتمال جهش انجام می‌گیرد. سپس از نسل دوم نیز بهترین‌ها انتخاب و بقیه حذف می‌گردند. فرآیند انتخاب، تلاقی و جهش تا حصول جواب مورد نظر ادامه خواهد یافت (Glodberg, 1989).

### فرمول‌بندی رویکردهای محاسبات نرم

تابع هدف و اهم قیود م‌ساله بهینه‌سازی سیستم مخزن-مزرعه تحقیق حاضر، مطابق جدول ۲ می‌باشد. هدف مسأله، حداکثرسازی سود خالص حاصل از تخصیص آب به محصولات مختلف در دوره‌های تصمیم‌گیری ده-روزه مطابق رابطه ۶ می‌باشد. در این رابطه،  $Ky_{c,t}$  تنش آبی گیاه C در دوره رشد t،  $ETa_{c,t}$  تبخیر و تعرق واقعی،  $ETP_{c,t}$  تبخیر و تعرق پتانسیل،  $A_c$  سطح کشت بهینه هر محصول (ha)،  $Y_{maxc}$  حداکثر عملکرد و  $P_c$  درآمد محصول C می‌باشد. همچنین، تغییر حالت سیستم مخزن از یک

<sup>3</sup> Mutation

<sup>1</sup> Selection  
<sup>2</sup> Crossover

گام زمانی به گام بعدی، با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می‌شود. که در آن  $S_t$  و  $S_{t+1}$  ذخیره مخزن به ترتیب در دوره‌های  $t$  و  $t+1$ ،  $Q_t$  جریان ورودی در هر ماه،  $R_t$  میزان رها سازی از مخزن،  $e(S_{t+1}, S_t)$  تلفات تبخیر از سطح مخزن در بازه زمانی  $t$  و  $t+1$  و  $Spill_t$  میزان خروجی ناشی از سرریز است.

جدول (۲): لیست روابط حاکم بر مساله بهینه‌سازی سیستم مخزن - مزرعه

فرمول	شماره	نام رابطه
$\text{Max: } \sum_{c=1}^C [1 - \sum_{t=1}^T K y_{c,t} (1 - \frac{ETa_{c,t}}{ETP_{c,t}})] A_c Y_{\max c} P_c$	(۶)	تابع هدف
$S_{t+1} = S_t + Q_t - R_t + Rain_t - Spill_t - e(S_{t+1}, S_t)$	(۷)	بیان ذخیره آب در
$SM_{t+1} Root_{t+1} = SM_t Root_t + IR_t + P_t - ETA_t - DP_t + SM' \cdot (Root_{t+1} - Root_t)$	(۸)	بیان رطوبتی خاک
$ETA_{c,t} \leq [(SM_{c,t} - PWP_c) Root_{c,t} + Rain_t + IR_{c,t} - DP_{c,t}] / [(1 - P_c)(FC_c - PWP_c) Root_{c,t}] ETM_{c,t}$	(۹)	تبخیر و تعرقی واقعی
$ETM_{c,t} = KC_{c,t} * ETO_t$	(۱۰)	تبخیر و تعرقی حداکثر
$DP_t \geq IR_t (1 - Eff)$	(۱۱)	نفوذ عمقی
$A_{\min c} \leq A_c \leq A_{\max c}$	(۱۲)	محدوده مجاز سطح کشت
$\sum_t IR_{c,t} \leq TAW_c \quad \& \quad \sum_c IR_{c,t} \times A_c \leq R_t$	(۱۳)	حداکثر آب تخصیصی به هر

تعرق مرجع ( $ETo_t$ ) و ضریب گیاه ( $KC_{c,t}$ ) مربوط به آن بستگی دارد. رابطه (۱۱) نحوه محاسبه نفوذ عمقی ( $DP_t$ ) را نشان می‌دهد که تابعی از راندمان آبیاری ( $Eff$ ) و  $IR_t$  است. همچنین روابط (۱۲) و (۱۳) محدوده مجاز سطح زیر کشت هر محصول و آب قابل تخصیص به هر یک را نشان می‌دهد. تشریح کامل روابط و پارامترهای نامبرده در مراجع Paul و همکاران (۲۰۰۰) و نیز قدمی و همکاران (۱۳۸۸) قابل ملاحظه است.

### نتایج و بحث

در این بخش برای اجرای مدل‌های یکپارچه بهینه‌سازی با استفاده از تکنیک‌های محاسبات نرم، از آمار جریان ورودی به مخزن و نیز مقادیر تبخیر و تعرق مرجع برای سال ۷۸-۱۳۷۷ استفاده شده است. برای آماده سازی مدل‌های GA و PSO، مسأله بهینه‌سازی به نحوی تعریف شد که بتواند بهره‌برداری از مخزن و تخصیص بهینه آب آبیاری را برای تعداد ۳۶ دوره ۱۰

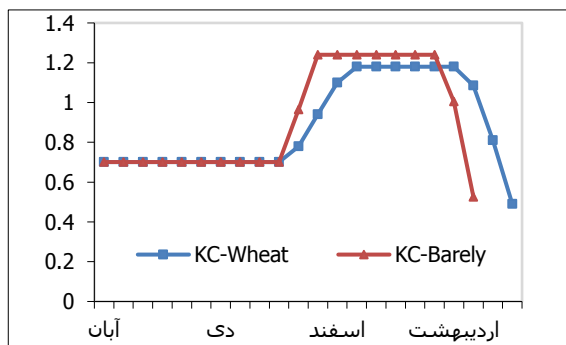
در جدول ۲ روابط هشت به بعد مربوط به سیستم مزرعه بوده که دربرگیرنده قیود مربوط به بیان آب در خاک، محدوده مجاز رطوبتی، نشست عمقی، تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل می‌باشند. رابطه (۸)، بیان رطوبت آب در خاک را نشان می‌دهد که تابعی از رطوبت خاک در گام زمانی مورد نظر ( $SM_t$ )، عمق ریشه ( $Root_t$ )، مقدار آب تخصیصی در اثر آبیاری ( $IR_t$ )، تبخیر و تعرقی واقعی ( $ETA_t$ )، نفوذ عمقی ( $DP_t$ ) و بارندگی موثر ( $P_t$ ) می‌باشد. لازم بذکر است که طول ریشه در هر دوره زمانی از رابطه سینوسی ارائه شده توسط (Borg and Grimes, 1986) محاسبه می‌شود. رابطه (۹) نحوه محاسبه  $ETA_t$  را نشان می‌دهد که علاوه بر پارامترهای تعریف شده قبلی، تابعی از ظرفیت رطوبتی خاک در دو حالت نقطه پژمردگی دائم (PWP) و ظرفیت مزرعه (FC) می‌باشد. در این رابطه  $ETM_{c,t}$  حداکثر تبخیر و تعرق محصول  $c$  در مرحله رشد  $t$  می‌باشد که مطابق رابطه (۱۰) به تبخیر-



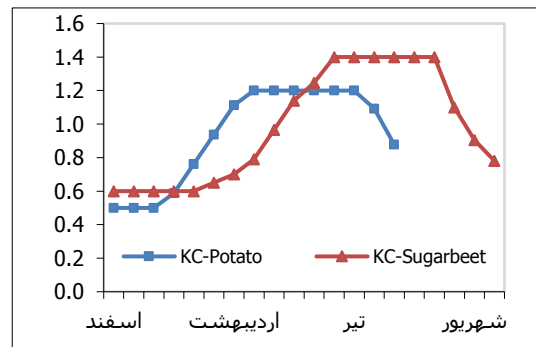
این راستا با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیت (Allen et al., 1998) و داده‌های ایستگاه سینوپتیک اصفهان، مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) محاسبه شده است (Moghadasi et al., 2010). در ادامه ضریب گیاهی (Kc) با توجه به دوره‌های زمانی در هر مرحله از رشد گیاه بر اساس استاندارد-FAO (Doorenbos and Pruitt, 1984) 24 محاسبه شده است که روند تغییرات آن برای محصولات گندم، جو، چغندر قند و سیب زمینی مطابق شکل‌های ۴ و ۵ می‌باشد.

روزه حل نموده و سود حاصل از تخصیص آب بین محصولات مختلف را حداکثر نماید. در مدل‌های نامبرده با توجه به تقویم کشت محصولات گندم، جو، چغندر قند، یونجه و سیب زمینی، تعداد ۱۰۱ متغیر تصمیم عمق آبیاری و ۱۰ متغیر از نوع سطح زیر کشت محصولات (جمعاً ۱۱۱ متغیر تصمیم) وجود دارد. همچنین ذخیره مخزن در ابتدای شبیه‌سازی به صورت نیمه‌پر و با حجم  $MCMY00$  و رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (FC) فرض شد.

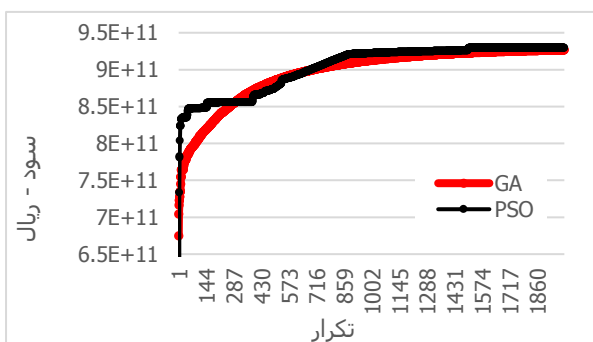
مطابق جدول ۲ یکی از المان‌های مهم در معادله بیلان ذخیره رطوبتی خاک، مقادیر ETA می‌باشد. در



شکل (۵): تغییرات ضریب گیاهی محصولات گندم و جو



شکل (۴): تغییرات ضریب گیاهی سیب زمینی و چغندر قند



شکل (۶): روند همگرایی تابع هدف در مدل‌های GA و PSO

لازم به ذکر است که در اجرای تکنیک‌های محاسبات نرم تحقیق حاضر (GA و PSO) مقادیر جمعیت اولیه تاثیر بسزایی در سرعت همگرایی مدل‌ها و دست یافتن به جواب بهینه دارد. در این راستا برای شرایط اقلیمی سال ۱۳۷۷-۷۸ یک مدل LP اجرا و

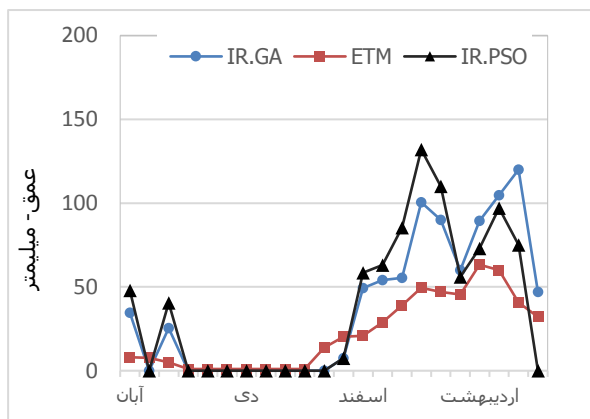
از آنجا که عملکرد مدل GA به انتخاب مقادیر مناسبی از جمعیت اولیه، عملگر انتخاب، تعداد نسل، احتمال تلاقی و احتمال جهش بستگی دارد، مقادیر مناسب این پارامترها با آنالیز حساسیت روی همگرایی مدل تعیین گردید. بدین منظور تعداد جمعیت بین ۱۰۰ تا ۵۰۰، احتمال تلاقی بین ۳۰ تا ۹۰ درصد و احتمال جهش بین ۰/۰۱ تا ۰/۲ انتخاب گردید. لازم بذکر است که تعداد نسل‌های لازم برای رسیدن به جواب بهینه در تمامی موارد برابر ۲۵۰۰ فرض گردید. در این راستا با استفاده از آنالیز حساسیت، ابتدا مقادیر بهینه احتمال تلاقی و جهش به ترتیب برابر ۰/۷۵ و ۰/۱۵ بدست آمد که در تکرارهایی برابر ۲۰۰۰ به همگرایی رسید (شکل ۶).

خروجی های آن بعنوان جمعیت اولیه برای مدل‌های PSO و GA انتخاب گردید.

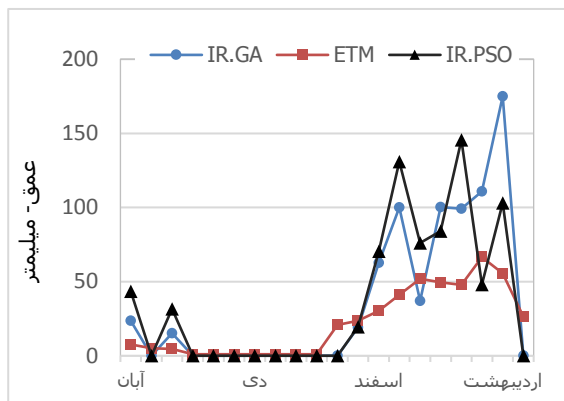
همانگونه که از شکل ۶ پیدا ست روند همگرایی در مدل PSO سریعتر از مدل GA می‌باشد. مقادیر سود بدست آمده از این دو مدل به ترتیب برابر با  $10^{11} \times 9/3$  و  $10^{11} \times 9/27$  است که نشان می‌دهد سود حاصل از مدل PSO تقریباً ۳۰ درصد بیشتر از GA بوده است. شایان ذکر است مطابق رابطه ۶ تابع هدف حداکثر کردن سود بدست آمده از تخصیص آب در بخش کشاورزی می‌تواند با شد که بدین منظور از مقادیر عملکرد بهینه هر محصول، مساحت بهینه و سایر پارامترهای مرتبط با هر محصول استفاده شده است. در این راستا با بکارگیری مدل‌های محاسبات نرم مورد استفاده در تحقیق و بهینه سازی متغیرهای تصمیم، مقادیر عملکرد

هر محصول و سطح زیر کشت آنها بهینه شد. بعد از اجرای مدل‌های PSO و GA مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم شامل سطح زیر کشت محصولات و عمق آبیاری در دوره‌های ۱۰-روزه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. در این راستا از مجموع کل سطح قابل کشت که برابر ۱۹۸۲۹۰ هکتار می‌باشد مجموع سطح زیر کشت تخصیصی در مدل PSO و GA به ترتیب برابر ۱۹۷۸۰۸ و ۱۹۶۷۶۳ می‌باشد.

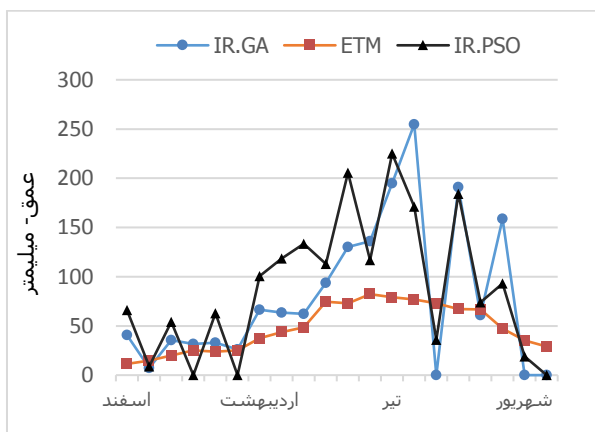
نتایج سطوح کشت برای مدل‌های نامبرده نشان می‌دهد که هر دو مدل قیود مربوط به حداکثر مجاز سطح قابل کشت را رعایت می‌کنند. مقادیر تخصیص ۱۰ روزه آب در سطح مزرعه یا بعبارت دیگر عمق آبیاری از دیگر متغیرهای تصمیم مساله است که نحوه تخصیص بهینه آن برای محصولات مختلف در شکلهای ۷ تا ۱۰ ارائه شده است.



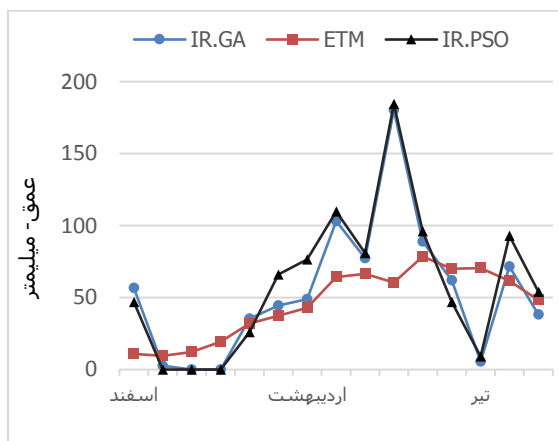
شکل (۸): مقایسه حداکثر نیاز آبی گندم و عمق آبیاری حاصل از مدل‌های PSO و GA



شکل (۷): مقایسه حداکثر نیاز آبی جو و عمق آبیاری حاصل از مدل‌های PSO و GA



شکل (۱۰): مقایسه حداکثر نیاز آبی چغندر قند و عمق آبیاری حاصل از مدل‌های PSO و GA



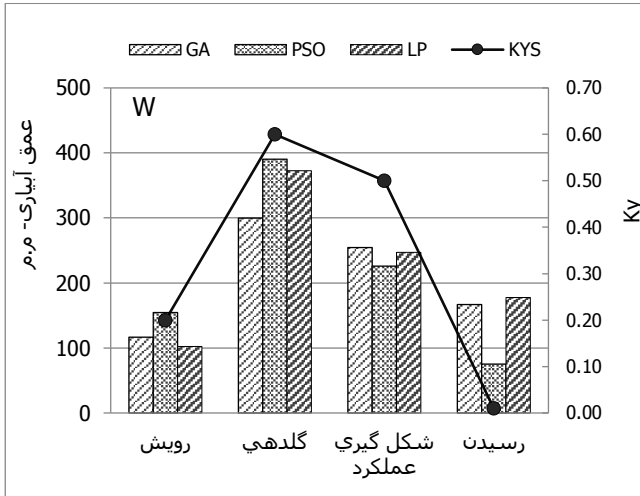
شکل (۹): مقایسه حداکثر نیاز آبی سیب زمینی و عمق حاصل از مدل‌های PSO و GA

رشد برای محصولات زراعی غالب در حوزه زاینده رود (بر حسب روز) در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین مقادیر این مدل‌ها با مقادیر بدست آمده از مدل LP مطابق شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ مقایسه شده است.

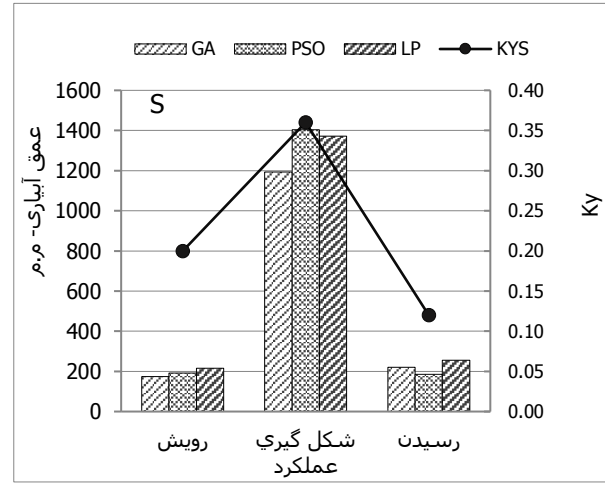
در ادامه نحوه تخصیص مقادیر بهینه عمق آبیاری در دوره‌های مختلف دوره رشد محصولات برای مدل‌های PSO و GA بررسی شده است. طول دوره‌های مختلف

جدول (۳): دوره های رشد برای محصولات زراعی غالب در حوزه زاینده رود (روز)

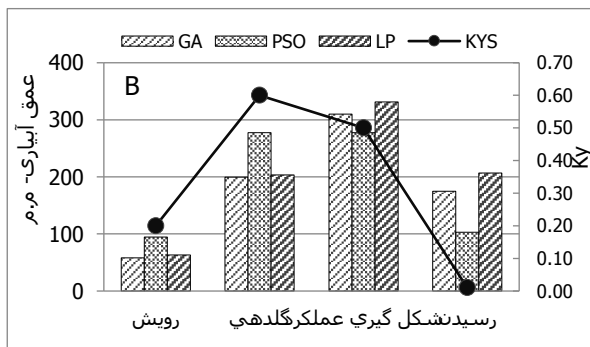
نام محصول دوره	رویش	گلده ی	شکل گیری عملکرد	رسیدن
گندم	۱۳۰	۴۰	۳۰	۲۰
جو	۱۲۰	۳۰	۳۰	۲۰
چغندر قند	۵۰	-	۱۰۰	۵۰
سیب زمینی	۷۰	-	۶۰	۲۰
یونجه	۲۰	-	۲۰	-



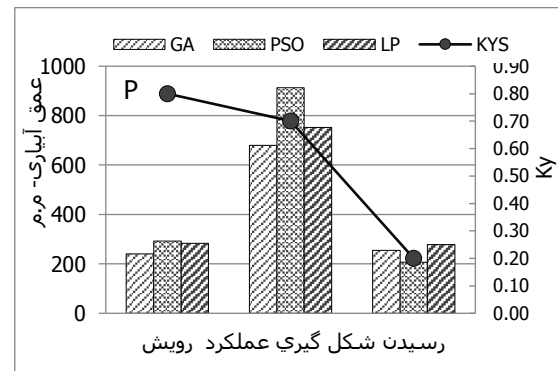
شکل (۱۲): مقایسه حداکثر نیاز آبی گندم و عمق آبیاری حاصل از GA و PSO



شکل (۱۱): مقایسه حداکثر نیاز آبی چغندر قند و عمق آبیاری حاصل از GA و PSO



شکل (۱۴): مقایسه حداکثر نیاز آبی جو و عمق آبیاری حاصل از مدل‌های GA و PSO



شکل (۱۳): مقایسه حداکثر نیاز آبی سیب زمینی و عمق آبیاری حاصل از مدل‌های GA و PSO

بین محصولات بدون تغییر سطح زیر کشت اعمال می‌گردد. نتایج نشان داد که سود حاصل از مدل‌سازی یکپارچه PSO برای سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ برابر با  $10^{11} \times 9/3$  ریال می‌باشد. این مقدار در مقایسه با سود واقعی منطقه که از روش ونش‌بندی برابر  $10^{11} \times 4/53$  گزارش شده است، افزایش قابل توجهی داشته است. در حقیقت استفاده از رویکردهای فراکاو شی PSO و GA توانست کمبود آب را به نحو بهتری بین مراحل رشد محصولات توزیع کرده و عملکرد و سود بیشتری را حاصل کند

در ادامه برای قضاوت در مورد عملکرد مدل منتخب PSO مقادیر سود حاصل از آن با سود واقعی بدست آمده در منطقه برای سال ۷۸-۱۳۷۷ مقایسه گردید. برای محاسبه سود واقعی در منطقه از روش ونش‌بندی که رویکرد سنتی توزیع آب در شبکه‌های کشاورزی پایین‌دست زاینده‌رود برای شرایط کم آبی است، استفاده شده است. در این روش، برای برآورد مقدار آبیاری، حداکثر آب مورد نیاز هر شبکه با توجه به محصولات زراعی درون آن محاسبه می‌گردد و سپس با مد نظر قرار دادن حداکثر آب قابل دسترس از خروجی مخزن، درصد کاهش به طور مساوی بین شبکه‌ها اعمال می‌شود. درون هر شبکه نیز همان درصد کاهش



## نتیجه گیری

با توجه به ضرورت تعادل بین عرضه و تقاضا در مدیریت سیستم‌های منابع آب بخصوص در شرایط کمبود منابع آب، در این تحقیق با ملاحظه مقادیر جریان ورودی به مخزن و نیاز متغیر کشاورزی برای گیاهان، سیستم یکپارچه بهره‌برداری از مخزن و تخصیص آب در سطح مزرعه برای شبکه‌های کشاورزی پایین دست سد زاینده رود تدوین گردید. در این راستا با بکارگیری رویکردهای محاسبات نرم (GA, PSO) حداکثر کردن سود خالص ناشی از کاشت تمامی محصولات کشت شده در این شبکه‌ها مورد هدف واقع شد. به دلیل ماهیت تابع هدف، کثرت متغیرهای تصمیم و پیچیدگی‌های موجود در اعمال قیود مختلف در مدلسازی یکپارچه مخزن-مزرعه از رویکردهای فراکاوشی نامبرده استفاده گردید. بدین صورت که با توجه به مقادیر مشخصی از متغیرهای حالت سیستم

یعنی ذخیره مخزن در ابتدای سال و رطوبت خاک در مزرعه، مناسب‌ترین الگوی بهره‌برداری ۱۰-روزه از مخزن سد و تخصیص بهینه آب بین گیاهان مختلف با هدف حداکثر سازی سود خالص سالانه، تعیین گردید. نتایج مدلسازی با دو رویکرد PSO و GA و با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی و اقتصادی در سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ حاکی از آن بود که به علت توزیع بهتر کمبودهای آبی بین مراحل مختلف رشد محصولات، توانست سود سیستم را در مقایسه با مقادیر واقعی بدست آمده از رویکرد سنتی و نش‌بندی به طور چشمگیری افزایش دهد. نظر به وجود متغیرهای عمق آبیاری و سطح زیر کشت محصولات و نیز قیود غیرخطی در مساله، نتایج نشان داد که هر دو رویکرد PSO و GA توانستند با رعایت حدود مجاز عمق آبیاری و سطح زیر کشت، مقادیر توابع پنالتی را حداقل سازند. در این راستا سرعت همگرایی الگوریتم PSO نسبت به GA بیشتر بوده است.

## تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از یک طرح پژوهشی بوده که قرارداد همکاری آن در پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی (دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته) با شماره ۱۶۷۳/۹۶/ص/۷ مورخ ۱۳۹۶/۰۵/۲۹ به ثبت رسیده و منابع مالی آن توسط پژوهشگاه نامبرده تامین شده است، که بدینوسیله از همکاری ریاست محترم آن مرکز و همکارانشان تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

- بانک طرح‌های توسعه منابع آب (۱۳۸۸)، شرکت مدیریت منابع آب ایران، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا. شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران .
- حبیبی داویدجانی م.، بنی حبیب م.، ا.، هاشمی س. ر. (۱۳۹۲). مدل بهینه سازی تخصیص منابع آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات با استفاده از الگوریتم پیشرفته GAPSO، مجله آب و خاک، دوره ۲۷، شماره ۴، صفحه ۶۹۱-۶۸۰.
- سرگزی، ع. قویدل م. (۱۳۹۶). برنامه ریزی و تخصیص بهینه منابع آب در بخش کشاورزی با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی فازی ( مطالعه موردی شهرستان صومعه سرا). مجله تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۳، شماره ۲، صفحه ۸۱-۷۴.
- قدمی، س. م.، قهرمان، ب.، شریفی، م. ب. و رجیبی مشهدی، ح. (۱۳۸۸). بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم‌های چند مخزنی منابع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک. مجله تحقیقات منابع آب ایران. سال پنجم، شماره ۲.



Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). FAO, Water Resources, Development and Management Service, Rome, Italy.

Borg H, Grimes W. 1986. Depth development of roots with time: an empirical description. Transactions of the ASAE 29(1): 194-197.

Castillo O, Melin P, Pedrycz W, Kacprzyk J. 2014. Recent advances on hybrid approaches for designing intelligent systems, Part of the Studies in Computational Intelligence book series (SCI, volume 547), Springer. Tijuana, Mexico.

Doorenbos, J. and Kassam, AH. (1977). Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33, Rome: FAO.

Dudley, B. J., and Scott, B. W. (1993). Integrating irrigation water demand, supply, and delivery management in a stochastic environment. Water Resources Research, 29(9): 3093-3101.

FAO (2003). FAO's Information System on Water and Agricultur. Available online at <http://www.fao.org>.

Ghahraman, B. and A. R. Sepaskhah. (2002). Optimal allocation of water from a single purpose reservoir to an irrigation project with pre-determined multiple cropping pattern. Irrig. Sci. 21: 127-137.

Ghahraman, B. and Sepaskhah, A. R. (2004). Linear and Non-Linear Optimization Models for Allocation of a Limited Water Supply. Irrig. Drain. 53: 39-54.

Goldberg, D. D. (1998). Genetic algorithm in search, optimization and machine learning, Addison Wesley publishing compagne Inc, 401.

Kennedy, J., and Eberhart, R. C. (1 995). Particle Swam Optimization; Roc. IEEE International Conference on Neural Networks (Path, Australia), IEEE Service Center, Piscataway, NJ, N: 1942-1948.

Khanjari Sadati, S. Speelman, S. Sabouhi, M., Gitizadeh, M. Ghahraman, B. (2014). Optimal Irrigation Water Allocation Using a Genetic Algorithm under Various Weather Conditions. Water, 6:3068-3084; doi: 10.3390/w6103068

Li, X., Huo, Z., Xu, B. (2017). Optimal Allocation Method of Irrigation Water from River and Lake by Considering the Field Water Cycle Process, Water, 9(911), DOI: 10.3390/w9120911.

Moghaddasi, M., Morid, S., Araghinejad, S. and Agha Alikhani, M. (2010). Assessment of irrigation water allocation based on optimization and equitable water reduction approaches to reduce agricultural drought losses: the 1999 drought in the zayandeh rud irrigation system (Iran). Irrigation and drainage, 59(4): 377-387.

Paul, S., Sudhindra, N.P. and Kumar, D.N. (2000). Optimal irregation allocation: A multilevel approach, ASCE: Journl of Irregation and Drainage Engineering, 126: 149-154.

Reca, J., Roldan, J., Alcaide, M., Lopez, R. and Camacho, E. (2001). Optimisation model for water allocation in deficit irrigation systems, I. Description of the model. Agricultural water Management, 48: 103-116.

Vedula, S., and Mujumdar, P. P. (1992). Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crops, Water Resour. Res., 28(1), 1-9.



Vedula, S and Mohan, S. (1990). Real-time multipurpose reservoir operation: a case study. *Hydrological Sciences Journal*. 35(4): 447-462.

Vedula, S. and Mujumdar, P. (2005). *Water Resources Systems: Modelling Techniques and Analysis*, Tata McGraw-Hill.

Yeh, J. Y. and Lin, W. S. (2007). Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department, *Expert Systems with Applications*, Vol. 32(4), pp. 1073-1083, 2007.

Yeh, W. (1985). Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review, *Water Resource. Research*, 21(12): 1797–1818.

Tripathi, P. K., Bandyopadhyay, S., & Pal, S. K. (2007). Multi-objective particle swarm optimization with time variant inertia and acceleration coefficients. *Information sciences*, 177(22), 5033-5049.

## The Use of Soft Computing Techniques for Irrigation Scheduling during Drought Episode

Sedigheh Anvari<sup>1\*</sup>, Esmat Rashedi<sup>2</sup>, Sedigheh Mohammadi<sup>3</sup>

Agricultural sector is the main water consumer in our country. So the appropriate decisions for irrigation scheduling and its optimal allocation is of great importance for an efficient water management. The aim of the present study is to employ some soft computing techniques, such as the particle swarm optimization (PSO) and genetic algorithm (GA), and to determine optimal irrigation scheduling as well as reservoir release for agricultural networks located at downstream of Zayandeh-Rud dam. In this regard, the crop calendar, total amount of available water as well as arable land in agricultural sector, the amount of water available at the beginning of water year and crop water requirements are the most important non-linear constraints of current research. The results showed the integrated PSO modeling with better distribution of water shortages among different crop growth stages could significantly increase the net profit of system while compared to those of traditional irrigation systems. Regarding the time of reaching the convergence as well as total attainable benefit, the PSO has slightly outperformed the GA. Consequently, application of soft computing techniques in irrigation scheduling will provide effective water allocation patterns to save more water in an arid region with limited water resources.

**KeyWords:** Irrigation scheduling, optimization, variable agricultural demand, genetic algorithm, particle swarm optimization.

---

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. (\*Corresponding author: Email: anvari.t@gmail.com, s.anvari@kgut.ac.ir)

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. (\*Corresponding author: Email: anvari.t@gmail.com, s.anvari@kgut.ac.ir)



## Research Paper

## The Use of Soft Computing Techniques for Irrigation Scheduling During Drought Episode

Sedigheh Anvari<sup>1\*</sup>,Esmat Rashedi<sup>2</sup>,Sedigheh Mohammadi<sup>3</sup>

1 PhD, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

2 PhD, Department of Electrical and Computer Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

3 PhD, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.



10.22125/IWE.2021.269676.1477

Received:

**April.30.2020**

Accepted:

**July.25.2021**

Available online:

**June.01.2022****Keywords:****Irrigation scheduling, optimization, variable agricultural demand, genetic algorithm, particle swarm optimization****Abstract**

Agricultural sector is the main water consumer in our country. So the appropriate decisions for irrigation scheduling and its optimal allocation is of great importance for an efficient water management. The aim of the present study is to employ some soft computing techniques, such as the particle swarm optimization (PSO) and genetic algorithm (GA), and to determine optimal irrigation scheduling as well as reservoir release for agricultural networks located at downstream of Zayandeh-Rud dam. In this regard, the crop calendar, total amount of available water as well as arable land in agricultural sector, the amount of water available at the beginning of water year and crop water requirements are the most important non-linear constraints of current research. The results showed the integrated PSO modeling with better distribution of water shortages among different crop growth stages could significantly increase the net profit of system while compared to those of traditional irrigation systems. Regarding the time of reaching the convergence as well as total attainable benefit, the PSO has slightly outperformed the GA. Consequently, application of soft computing techniques in irrigation scheduling will provide effective water allocation patterns to save more water in an arid region with limited water resources.

## 1. Introduction

Water scarcity and the increase in demand for water, food and agricultural products are challenging issues that water resources managers are encountering in Iran, dominated by an arid and semi-arid climate (Anvari et al., 2014). About 90% of the available water in Iran is used for irrigation purposes (<http://news.moe.gov.ir>). Therefore, optimal irrigation scheduling is of utmost importance to cope with water scarcity and mitigate consequent losses.

In the present paper, an integrated optimization model of Zayandehrood reservoir-farm system (IRFS) and its downstream agricultural networks has been formulated during the severe drought of 1998-99.

This integrated model was designed for optimal reservoir operation and water allocation. Due to existing numerous constraints and complexities of this integrated problem, the soft computing techniques such as genetic algorithm (GA) and particle swarm optimization (PSO) have been used as the optimization models

## 2. Materials and Methods

In this study the metaheuristic models of GA and PSO were applied to maximize the summed benefit of all cultivated crops in the Zayandehrood irrigation system (Equation 1). Therefore, based on a 10-day irrigation period that is usual in our case of interest, water is optimally released from the reservoir and then allocated to different crops according to their water requirements and sensitivity to water stress.

$$\text{Max: } \sum_{c=1}^C [1 - \sum_{t=1}^T K_{y_{c,t}} (1 - \frac{ETa_{c,t}}{ETP_{c,t}})] A_c Y_{\max c} P_c \quad (1)$$

Following are the main constraints of the IRFS:

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - R_t + \text{Rain}_t - \text{Spill}_t - e(S_{t+1}, S_t) \quad (2)$$

$$SM_{t+1} \text{Root}_{t+1} = SM_t \text{Root}_t + IR_t + P_t - ETA_t - DP_t + SM'. (\text{Root}_{t+1} - \text{Root}_t) \quad (3)$$

$$ETM_{c,t} = KC_{c,t} * ETO_t \quad (4)$$

$$DP_t \geq IR_t (1 - \text{Eff}) \quad (5)$$

$$A_{\min c} \leq A_c \leq A_{\max c} \quad (6)$$

$$\sum_c IR_{c,t} \times A_c \leq R_t \quad \& \quad \sum_t IR_{c,t} \leq TAW_c \quad (7)$$

## 3. Results

Figures 2 shows the operations for determining the best fitness values for the GA model.

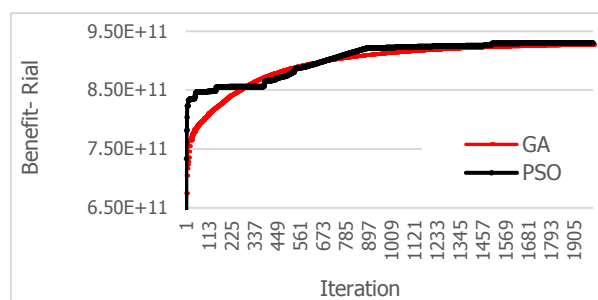


Figure 1 Profit changes relative to the size of the population in the GA and PSO model

In this regard, out of the total arable land which is equal to 198290 hectares, the total area under allocated cultivation in PSO and GA models is 197808 and 196763, respectively.

The results of crop lands for the mentioned models showed that both models completely confirm the restrictions on the maximum arable area. The results showed that the profit from integrated PSO modeling for the water year 1998-1999 is equal to  $3/9 \times 10^{11}$  Rials. This amount has significantly increased compared to the real profit of the region, which has been reported from the method of sealing equal to  $4.53 \times 10^{11}$ . In fact, the use of PSO and GA metaheuristics approaches was able to better distribute water shortages among crop growth stages and achieve greater yields and profits.

#### 4. Discussion and Conclusion

The results of the PSO and GA approaches showed that due to better distribution of water shortages between different stages of crop growth, these metaheuristics approaches could significantly increase the profitability of the system compared to the actual values obtained from the traditional approach and scaling.

#### 5. Six important references

1. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). FAO, Water Resources, Development and Management Service, Rome, Italy.
2. Goldberg, D. D. (1998). Genetic algorithm in search, optimization and machine learning, Addison Wesley publishing compame Inc, 401.
3. Kennedy, J., and Eberhart, R. C. (1 995). Particle Swam Optimization; Roc. IEEE International Conference on Neural Networks (Path, Australia), IEEE Service Center, Piscataway, NJ, N: 1942-1948.
4. Moghaddasi, M., Morid, S., Araghinejad, S. and Agha Alikhani, M. (2010). Assessment of irrigation water allocation based on optimization and equitable water reduction approaches to reduce agricultural drought losses: the 1999 droughtin the zayandeh rud irrigation system (Iran). Irrigation and drainage, 59(4): 377–387.
5. Paul, S., Sudhindra, N.P. and Kumar, D.N. (2000). Optimal irregation allocation: A multilevel approach, ASCE: Journl of Irregation and Drainage Engineering, 126: 149-154.
6. Vedula, S., and Mujumdar, P. P. (1992). Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crops, Water Resour. Res., 28(1), 1–9.

#### Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

#### Acknowledgments

This research work was supported by the Kerman Graduate University of Advanced Technology (Institute of Science and High Technology and Environmental Science) (No. 96/1673). The authors would like to thank the KGUAT for their constructive support.