به‌کارگیری الگوریتم فراکاوشی چرخه آب به‌منظور تعیین الگوی بهینه کشت زراعی در مقایسه با الگوریتم ژنتیک و مدل برنامه‌ریزی خطی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری ورامین)

ناصر گنجی خرم‌دل[۱*]، معصومه عبدوس[۱] و سید محمد حسینی موغاری[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۳)

چکیده

با توجه به افزایش مصرف آب، توجه به تخصیص منابع بهینه آب نیاز است. در دهه‌های اخیر، استفاده از روش‌های تکاملی هوشمند برای بهینه‌سازی تخصیص آب گسترش پیدا کرده است. هدف از این مطالعه، توسعه یک مدل برنامه‌ریزی منابع آب برای تعیین کشت مناسب، بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی و منابع آب و همچنین نحوه تخصیص آب در میان محصولات کشاورزی به‌منظور به حداقل رساندن اثرات جانبی ناشی از کمبود آب و افزایش درامد آن است. در این مطالعه به‌منظور به حداکثر رساندن سود و کاهش حداکثری مصرف آب، براورد نیاز آب به محصول در دوره‌های مختلف برای بهینه‌سازی مدیریت الگوهای برداشت و مدیریت آبیاری در کشت در شبکه آبیاری ورامین با استفاده از الگوریتم تکاملی جدید چرخه آب استفاده شد. سپس برای اعتبارسنجی روش، نتایج آن با مدل برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک مقایسه شد (R^2 = ۰/۹۹۶۳) نتایج نشان داد که الگوی کاشت منطقه مطلوب نبوده و کشت محصولاتی نظیر گندم، جو، گوجه‌فرنگی، خربزه و یونجه به صفر رسیده است. در الگوی جدید، بیشترین سطح زیر کشت به محصولات صنعتی مانند کلزا و پس از آن به خیار و ذرت اختصاص داده شد در حالی که درامد حدود ۱۱ درصد افزایش یافت. علاوه‌بر آن، مقداری آب در ماه‌های مختلف در شبکه باقی می‌ماند که می‌توان از آنها به‌منظور تزریق به سفره‌های زیرزمینی و یا کشت سایر محصولات بر اساس میزان آب موجود استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی فراکاوشی، الگوی کشت، عملکرد محصول، الگوریتم چرخه آب، الگوریتم ژنتیک

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک
۲. گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: naser.ganjikhorramdel@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

رشد جمعیت تأثیر مستقیم بر منابع طبیعی موجود برای مصارف انسانی و امنیت غذایی گذاشته است. رشد نمایی جمعیت منجر به کاهش مساحت کشاورزی خالص در دسترس برای تولید گیاه شده است. جمعیت ممکن است در سال ۲۰۵۰ به ۹/۲۵ میلیارد نفر برسد. افزایش جمعیت نیاز به محصولات غذایی و در نتیجه آن نیاز به محصولات کشاورزی را افزایش می‌دهد (۱). بهینه‌سازی روشی است که به‌وسیله آن بهترین جواب ممکن برای یک مسئله با توجه به هدف تعیین شده و قیدهای موجود که همه با توابع و روابط ریاضی مشخص شده‌اند، تعیین می‌شود. در واقع هدف از بهینه‌سازی یافتن بهترین جواب ممکن قابل قبول، با توجه به محدودیت‌ها و نیازهای مسئله است. بهینه‌سازی الگوی کشت در کشاورزی یکی از مهم‌ترین علومی است که در مدیریت و برنامه‌ریزی می‌تواند نقش مهمی را بر عهده داشته باشد. درخصوص به‌کارگیری روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی در رابطه با پژوهش حاضر، مطالعات متعددی در خارج از کشور صورت گرفته است. سود آوری اقتصادی استفاده از پنج گزینه در مورد علوفه غلات در غرب آفریقا با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی براورد شد. نتایج مطالعات پژوهشگر بر پایه روش تجربی در مرکز مطالعات ساحلیان صورت پذیرفته است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مدل پیشنهادی شامل مجموعه‌ای از گزینه‌هاست که در آنها سود اقتصادی در بالاترین سطح ممکن است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده علوفه برای تغذیه دام، بیشترین سود و سوزاندن علوفه کمترین فایده را برای زارعین در پی دارد (۱۰). در پژوهشی از مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده شد تا الگوی بهینه کشت را با هدف حداکثر کردن درامد خالص در منطقه‌ای از پاکستان براورد کند که در این مدل، میزان زمین و حداقل کشت گندم و برنج برای نیازهای غذایی کشاورزان به‌عنوان محدودیت‌های مدل در نظر گرفته شده‌اند که بر اساس نتایج حاصله سود آورترین کشت منطقه، کشت محصول گندم تعیین شد (۱۳). در تخصیص زمین زراعی در یک منطقه در هند، استراتژی‌های سه‌گانه پایداری از یک الگوی الگوریتم ژنتیک استفاده شد و میزان زمین اختصاص داده شده در هر استراتژی باهم مقایسه شد (۷). از برنامه‌ریزی قطعی استوکاستیکی مخزن سد یک‌منظوره برای تخصیص بهینه آب آبیاری برای گیاهان زراعی ناحیه ارداک استفاده شد. بخشی از کار انجام شده ارائه یک مدل ساده غیر خطی برای توزیع و تخصیص آب و بخش دیگر شامل ارائه یک الگوریتم شبیه‌سازی غیرخطی برای به کمینه درآوردن تأثیر اقتصادی تنش آبی بر الگوی کشت منطقه بود (۶). در مطالعه‌ای در شهرستان مرودشت استان فارس با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، الگوی بهینه کشت منطقه را تعیین کردند که بر اساس آن سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای و یونجه نسبت به الگوی فعلی کاهش یافته و سطح زیرکشت بهینه محصولات آبی، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و یونجه تعیین شده است (۱۴). در یک تحقیق به تخصیص بهینه آب در شبکه آبیاری و زهکشی صوفی چای در استان آذربایجان شرقی با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته شد. منطقه مورد مطالعه آنها سد علویان و شبکه آبیای و زهکشی صوفی چای در پایین‌دست آن در نظر گرفته شد. اراضی کشاورزی آن محدوده شامل چهار منطقه با وسعت‌های مختلف است. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از اختلاف مقدار آب تخصیص یافته واقعی و مقدار بهینه در مناطق مختلف به‌طور متوسط برابر ۲/۱ میلیون مترمکعب است. همچنین میانگین سطح کل زیر کشت حاصل از مقادیر واقعی سه درصد بیشتر از سطح کشت حاصل از مقادیر پیش‌بینی منابع آب است. بر مبنای سطح زیر کشت بهینه، مقدار سود حاصله از فروش محصولات در منطقه نوسان داشت و روند خاصی را نشان نداد (۱۲). به‌منظور بهینه‌سازی الگوی کشت در منطقه کازرون از روش برنامه‌ریزی خطی و نرم‌افزار LINDO استفاده شد. الگوی کشت در در دو حالت کنونی (واسنجی) و بهینه، با توجه به محدودیت‌های منطقه تعیین شد. برای نشان دادن رابطه قیمت- مقدار، نمودار تقاضای آب به‌صورت پلکانی استخراج شد. نتایج نشان داد که کشاورزان از منابع موجود به نحو بهینه استفاده نمی‌کنند، به گونه‌ای که اختلاف سود در اجرای دو حالت بهینه و کنونی ۱۱/۵ درصد بود (۲). محققی با تهیه مدل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای تعیین الگو و تراکم کشت بهینه، ابتدا وضعیت کشاورزی آبخوان را بررسی کرد و بر اساس طبقه‌بندی اراضی و عکس‌های ماهواره‌ای اراضی زیر کشت آبی مشخص شد. سپس بر اساس

www.SID.ir

Archive of SID

اطلاعات موجود با روش تحلیل سلسله مراتب فازی (Fuzzy Analytical Hierarchy Process)، مکان‌های مناسب استحصال آب در دشت نیشابور مشخص و پایداری استحصال آب تعیین شد. سپس روش‌های مختلف براورد سطح آب زیرزمینی شامل روش‌های عصبی، فازی عصبی، رگرسیونی و مدل بیلان آب زیرزمینی دشت تعیین و از بین آنها مدل بیلان برای تعیین افت سطح آب، انتخاب شد. سپس کاربرد مدل‌های شبکه عصبی و عصبی فازی در تعیین عملکرد محصولات آبی و دیم بررسی قرار گرفشدت. نتایج نشان داد که این مدل‌ها نمی‌توانند عملکرد محصولات آبی و دیم را بر اساس اطلاعات هواشناسی براورد کنند، لذا از معادلات بیلان آب در خاک برای تعیین عملکرد محصولات دشت استفاده شد. بر این اساس روش‌های فراکاوشی الگوریتم اجزای جمعی (Particle Swarm Optimization) وEMPSACO بررسی و مدل بهینه‌سازی بر اساس آن تهیه شد. نتایج حاصله از آن نشان داد که دقت مدل EMPSACO بهتر از مدل استاندارد در بهینه‌سازی الگو و تراکم کشت است و ۷۸ درصد از سطح زیر کشت الگو و تراکم بهینه را گندم و جو به خود اختصاص داد و می‌بایست برای جبران خسارات و حفظ منابع آب زیرزمینی، ۱۶۳۹۳ هکتار از اراضی زیر کشت محصولات بهاره کاهش یابد. نتیجه نهایی این شد که بیشترین مقدار این کاهش مربوط به محصولاتی مانند سیب زمینی، پنبه و چغندرقند شود (۹). در پژوهشی دیگر الگوی کشت بهینه در ۳۳۰۰ هکتار از اراضی منطقه آق‌قلا در استان گلستان را با استفاده از نرم‌افزار LINGO و الگوریتم ژنتیک با هدف حداکثرسازی سود خالص، کاهش هزینه‌های کشت و کار به کمک تخصیص بهینه آب به اراضی مورد نظر تعیین و بیان کرد الگوی کشت فعلی منطقه مورد مطالعه بهینه نیست و در صورت اعمال الگوی کشت پیشنهادی، درامد خالص به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. همچنین وی بیان کرد الگوریتم ژنتیک نسبت به برنامه‌ریزی غیرخطی در بهینه‌سازی الگوی کشت ارجحیت دارد (۱۱)). الگوریتم چرخه آب (Water Cycle Algorithm)، یکی از جدیدترین الگوریتم‌های فرا کاوشی است که بر پایه چرخه آب یا چرخه هیدرولوژیکی در طبیعت ارائه شده است. مفاهیم بنیادی و ایده‌هایی که زیربنای روش پیشنهادی است از طبیعت و بر اساس مشاهدات از فرایند چرخه آب و جریان رودخانه‌ها و نهرها به دریا در جهان واقعی الهام گرفته شده است. کاربردهای بسیار کمی از این الگوریتم به‌ویژه در زمینه مهندسی منابع آب گزارش شده است (۸). الگوریتم چرخه آب در تحقیقی برای حل مسائل بهینه‌سازی مقید مهندسی پیشنهاد شد. نتایج نشان داد که اثر بخشی الگوریتم چرخه آب بیشتر از دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی از لحاظ فرایند محاسباتی و دقت در مقدار تابع هدف است (۵). برای تخصیص بهینه در مسائل زیست‌محیطی از الگوریتم چرخه آب استفاده شد (۳). در تحقیقی با استفاده از الگوریتم چرخه آب به بهره‌برداری بهینه از سیستم مخزن کارون ۴ و یک سیستم چهار مخزنه در ایران پرداخته شد. نتایج نشان‌دهنده همگرایی و قابلیت اطمینان بالای این الگوریتم بود (۴). هدف اصلی از این پژوهش با توجه به مشکلاتی از قبیل کمبود آب در منطقه و برداشت‌های بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی، ارائه یک الگوی بهینه کشت به‌منظور افزایش درامد و همچنین صرفه‌جویی در مصرف آب بوده و در نهایت رسیدن به یک رویکرد بهینه در استفاده از آب موجود در شبکه آبیاری مورد مطالعه، بررسی قابلیت و توانایی الگوریتم جدید چرخه آب و مقایسه نتایج آن با الگوریتم شناخته شده ژنتیک بود.

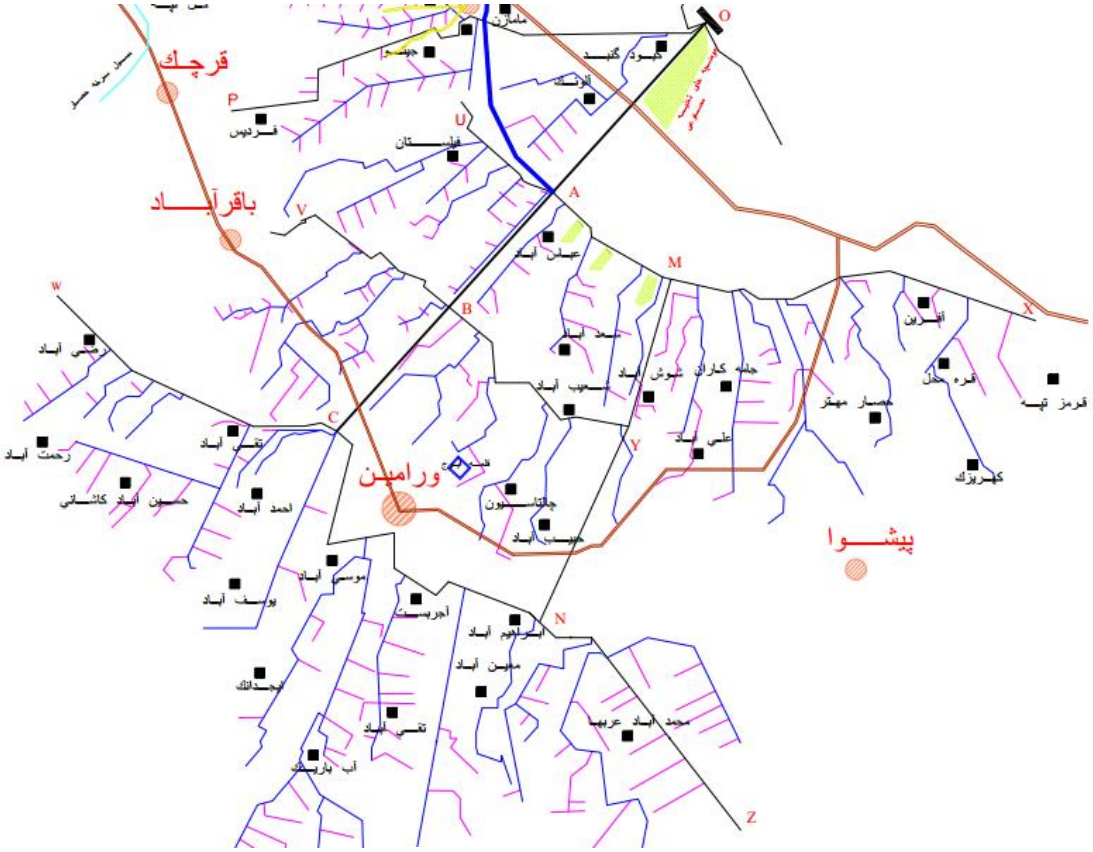
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان ورامین با مساحت ۲۴۳۱ کیلومتر مربع و جمعیت ۴۶۸۳۴۹ نفر یکی از شهرستان‌های استان تهران است. شبکه آبیاری ورامین در دهه ۶۰ توسعه یافت. موقعیت جغرافیایی آن به‌ترتیب دارای طول و عرض جغرافیایی ۴۴ و ۳۶ دقیقه تا ۵۱ و۴۰ دقیقه و ۳۵ و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ و ۴۶ دقیقه است. این شبکه برای ۶۰ هزار هکتار از این اراضی اجرا شده است. شبکه آبیاری ورامین در شکل (۱) نشان داده شده است. شبکه آبیاری ورامین با هدف تامین آب برای ۶۰۰۰۰ هکتار اراضی شهرستان ورامین به بهره‌برداری رسید. آمار و اطلاعات موجود از طریق سازمان جهاد کشاورزی، سازمان آب و سازمان هواشناسی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. شبکه آبیاری ورامین

استان تهران (از قبیل سطح زیر کشت، الگوی کشت فعلی و عملکرد محصولات) جمع‌آوری شده است. در این پژوهش برای تخصیص بهینه آب از الگوریتم چرخه آب که یک الگوریتم فراکاوشی جدید است، استفاده شده است.

الگوریتم چرخه آب

این الگوریتم ابتکاری جدید، از رفتار چرخه آب در طبیعت الهام گرفته شده است. آب به شکل جویبارها و رودخانه‌ها از بلندی‌های کوه‌ها به سمت دریاها حرکت می‌کند. در راه پایین آمدن، رودخانه ها و جویبارها، آب را از باران و دیگر جویبارها جمع آوری می‌کنند. آب رودخانه و دریاچه‌ها هنگامی که گیاهان در طی فرایند تبخیر، آب را پس می‌دهند، بخار می‌شود. هنگامی که آب بخار شده در اتمسفر بالا می‌رود، ابرها تشکیل می‌شوند. این ابرها در اتمسفر سردتری متراکم شده، آب را به شکل باران باز پس می‌دهند و جویبارها و رودخانه‌های جدید تولید می‌کنند (۶).

ایجاد جمعیت اولیه

در الگوریتم‌های ژنتیک و اجزای جمعی، آرایه‌هایی با نام‌های کروموزوم و مکان ذرات، مقادیر متغییرهای مسئله را تشکیل می‌دهند. در بهینه‌سازی چرخه آب هر آرایه، قطره باران نامیده می‌شود که برای یک مسئله بهینه‌سازی N بعدی و برای یک راه حل به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Raindrop=[X_1.X_2.X_3. \ldots\ldots X_{Nvar}] \quad (1)$$

با در نظر گرفتن N_{POP} قطره، ماتریس قطرات باران به صورت زیر بسط داده می‌شود.

$$\begin{bmatrix} Raindrops_1 \\ Raindrops_2 \\ Raindrops_3 \\ . \\ . \\ . \\ Raindrops_{Npop} \end{bmatrix} \quad (2)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که N_{POP} تعداد قطرات باران N_{var} تعداد متغیرهاست. در یک ماتریس به‌صورت تصادفی تشکیل‌شده از قطرات باران با اندازه $N_{POP}\times N_{var}$، هرکدام از مقادیر متغیر تعیین‌شده $[X_1, X_2, X_3, \ldots, X_N]$، می‌توانند به‌عنوان مقادیر واقعی یا به‌عنوان گروه از پیش تعیین‌شده به‌ترتیب برای مسئله پیوسته یا گسسته انتخاب شوند. برازندگی یا ارزش هر سطر با استفاده از تابع هزینه (C) به‌صورت زیر بدست می‌آید.

$$C_i = Cost_i = f(x_1^i.x_2^i.x_3^i....x_{Nvar}^i)\ i = 1,2,3,...,N_{pop} \quad (۳)$$

پس از تشکیل دادن N_{POP} قطره باران، تعداد N_{sr} تا از بهترین آنها (که دارای بهترین مقادیر برازندگی یا کمترین ارزش هستند) به‌عنوان رودخانه و دریا انتخاب می‌شوند. قطره‌ای که دارای بهترین مقدار تابع باشد، به‌عنوان دریا انتخاب می‌شود. بقیه قطره‌ها به‌عنوان جویبارهایی که ممکن است به رودخانه یا به‌طور مستقیم به دریا بریزند، انتخاب می‌شوند.

$$N_{sr}=\text{Number of Rivers} + 1(\text{sea}) \quad (۴)$$

$$N_{stream}= N_{POP} - N_{sr} \quad (۵)$$

بسته به شدت جریان آب، که از معادله زیر محاسبه می‌شود، جویبارها به‌عنوان رودخانه‌ها و دریاها تلقی می‌شوند.

$$NS_n = \text{round}\left\{\left|\frac{cost_n}{\sum_{i=1}^{N_{sr}} cost_i}\right|\right\} \quad (۶)$$

NS_n تعداد جویبارهاست که به رودخانه یا دریای معینی می‌ریزند (۶).

چگونگی جاری شدن جویبارها به دریا یا رودخانه

حرکت یک جویبار به سمت یک رودخانه معین در امتداد خطوط ارتباطی بین آنها، توسط یک مسافت انتخاب شده تصادفی و به‌صورت زیر اعمال می‌شود:

$$X \in (0, C\times d) \quad (۷)$$

که C یک مقدار تعریف شده توسط کاربر و بین ۱ و ۲ و d مسافت حاضر بین رودخانه و جویبار است. مقدار X عددی بین صفر و C×d با هر نوع توزیعی است. اگر مقدار C بزرگ‌تر از یک باشد، جویبارها این توانایی را پیدا می‌کنند که در جهات مختلف به سمت رودخانه‌ها جاری شوند. بنابراین، بهترین مقدار برای C مقدار دو است. این مفهوم همچنین می‌تواند برای جاری شدن رودخانه‌ها به سمت دریا استفاده شود. بنابراین، وضعیت جدید برای جویبارها و رودخانه‌ها می‌تواند با استفاده از معادله زیر محاسبه شود.

$$X_{Stream}^{i+1} = X_{Stream}^{i} + \text{rand}\times C\times\left(X_{River}^{i} - X_{Stream}^{i}\right) \quad (۸)$$

$$X_{River}^{i+1} = X_{River}^{i} + \text{rand}\times C\times\left(X_{Sea}^{i} - X_{River}^{i}\right) \quad (۹)$$

که درآن، rand یک عدد تصادفی یکنواخت توزیع شده بین صفر و یک است. منظور از تصادفی تأکید بر این مطلب است که استفاده از یک روش قطعی مشخص برای اعداد تصادفی، امکان بالقوه تصادفی بودن واقعی را از بین می‌برد. بنابراین اعداد تولید شده، واقعاً تصادفی نیست. هدف این است که به نحوی اعداد تصادفی در محدوده (صفر ویک) تولید کند تا دو خاصیت استقلال و توزیع یکنواخت را داشته باشند. اگر راه حل ارائه شده توسط یک نهر، بهتر از رودخانه متصل به آن باشد، موقعیت رودخانه و نهر عوض می‌شود (یعنی نهر، رودخانه می‌شود و رودخانه، نهر می‌شود). این تبادل نیز می‌تواند به همین شکل برای رودخانه‌ها و دریا اتفاق افتد یعنی اگر رودخانه راه حل بهتری از دریا داشته باشد، جابه‌جا خواهد شد (۶).

شرایط تبخیر

یکی از مهم‌ترین عواملی که از همگرایی سریع الگوریتم (همگرایی نابالغ) و به دام افتادن در بهینه محلی جلوگیری می‌کند، تبخیر است. مفهوم این پروسه از تبخیر آب دریا، از تعرق گیاهان در هنگام فتوسنتز اخذ شده است. فرایند تبخیر باعث می‌شود که آب دریا با تبخیر به‌صورت ابرها ظاهر شوند و آب دوباره به شکل باران به زمین برمی‌گردد و جریان رودخانه‌ها و یا نهرهای جدیدی تشکیل می‌دهند که دوباره به دریا می‌ریزد. شبه کد زیر چگونگی تعیین اینکه آیا رودخانه به دریا می‌ریزد یا نه را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

$$if\left|X_{Sea}^{i}-X_{River}^{i}\right|\langle d_{max}\qquad i=1,2,3,...,n \qquad (۱۰)$$

که d_{max} عدد کوچکی (نزدیک به صفر) است. بنابراین، اگر فاصله بین رودخانه و دریا کمتر از d_{max} باشد، نشانگر آن است که رودخانه به دریا رسیده است. در این وضعیت فرایند تبخیر اثر می‌کند و همانطور که در طبیعت دیده می‌شود، بعد از تبخیر کافی، باران (بارش) شروع خواهد شد. d_{max} شدت جستجو در نزدیکی دریا (راه حل بهینه) را کنترل می‌کند. مقدار d_{max} به‌صورت زیر در هر مرحله کاهش می‌یابد (۶).

$$d_{max}^{i+1}=d_{max}^{i}-\frac{d_{max}^{i}}{maxiteration} \qquad (۱۱)$$

فرایند بارش

پس از براورده شدن فرایند تبخیر، فرایند بارندگی اعمال می‌شود. این فرایند مشابه عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک است. در فرایند بارندگی، قطرات باران جدید نهرها را در مکان‌های مختلف تشکیل می‌دهند. برای تعیین مکان جدید نهرهای تازه شکل گرفته، از رابطه (۱۲) استفاده می‌شود.

$$X_{Stream}^{New}=LB+randn\times\left(UB-LB\right) \qquad (۱۲)$$

که LB و UB به‌ترتیب، کران پایین و بالای تعریف شده توسط مسئله است. بهترین قطرات باران جدید تشکیل شده به‌عنوان رودخانه و بقیه قطرات باران جدید به‌عنوان نهرهای جدید که به سمت رودخانه در جریان هستند و یا ممکن است به‌طور مستقیم به دریا برسند، در نظر گرفته می‌شوند. به‌منظور افزایش سرعت همگرایی و عملکرد محاسباتی الگوریتم برای مسائل مقید از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$X_{Stream}^{New}=X_{Sea}+\sqrt{\mu}\times randn(1,N) \qquad (۱۳)$$

μ ضریبی است که محدوده جستجوی در نزدیکی دریا را نشان می‌دهد. randn عدد تصادفی توزیع نرمال است. مقادیر بزرگ μ امکان خروج از منطقه امکان‌پذیر را افزایش می‌دهد و مقادیر کوچک μ منجر به جستجوی الگوریتم در منطقه کوچک‌تر در نزدیکی دریا می‌شود. مقدار مناسب μ، ۰/۱ تعیین شده است. معیار همگرایی در این پژوهش حداکثر تعداد تکرار بوده و برابر ۱۰۰۰ درنظر گرفته شده است (۶).

مدل‌سازی

به‌طور کلی مدل‌های بهینه‌سازی از دو بخش تابع هدف و محدودیت‌ها تشکیل شده است که تابع هدف بر اساس هدف مورد نظر مسئله حداکثر یا حداقل می‌شود. در این مقاله تابع هدف به‌صورت زیر ارائه شده است.

$$\max(x_1,x_2,...,x_n)=\sum_{k=1}^{n}A_iP_iY_i-\sum_{k=1}^{n}A_iCP_i-\sum_{k=1}^{n}A_iCWR_i \qquad (۱۴)$$

که در آن n تعداد محصولات، A_i مساحت زیر کشت هر محصول (هکتار)، P_i قیمت محصول (ریال)، Y_i عملکرد محصول (تن بر هکتار)، CP_i هزینه تولید (ریال)، CWR_i هزینه آب مصرفی (ریال) است. این تابع هدف با توجه به محدودیت‌های موجود حداکثر می‌شود. محدودیت‌هایی که در مسائل الگوی بهینه کشت حائز اهمیت است شامل محدودیت زمین و محدودیت آب مصرفی است که به‌صورت معادله (۱۵) و (۱۶) بیان می‌شود. در محدودیت سطح زیر کشت باید مجموع سطح زیر کشت محصولات برابر با مساحت زیر پوشش شبکه باشد و در محدودیت آب در دسترس، مجموع آب مصرفی برای تمام محصولات باید کمتر از میزان کل آب در دسترس باشد.

$$\sum_{1}^{n}A_i\le A \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{1}^{n}A_iCWR_i\le CW \qquad (۱۶)$$

در پژوهش حاضر تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش فائو پنمن مانتیث با استفاده از داده‌های هفت‌ساله هواشناسی ایستگاه ورامین محاسبه شد و سپس با استفاده از ضرایب گیاهی ارائه شده توسط سازمان خواروبار جهانی یا به اختصار فائو در نشریه ۵۶، مقادیر تبخیر و تعرق بالقوه گیاهان زراعی محاسبه شده است (۶).

نتایج و بحث

روش‌های فراکاوشی به‌دلیل ماهیت تصادفی آنها دارای پارامترهای

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. مقادیر پارامترهای مورد استفاده در برنامه الگوریتم چرخه آب

تعداد اجرا	تعداد قطرات	تعداد متغیر تصمیم	تعداد رودخانه
۱۰	۲۰۰	۱۰	۲۰

آزادی هستند که با تغییرات این پارامترها، عملکرد مدل، همگرایی و مرغوبیت جواب‌های تولید شده، تغییر خواهد کرد. به همین دلیل می‌بایست قبل از کاربرد مدل مقدار این پارامترها برای عملکرد بهینه تنظیم شود که با روش سعی و خطا مقادیر بهینه روش چرخه آب به‌صورت جدول (۱) انتخاب شده‌اند. برای بررسی کارامدی و درستی عملکرد الگوریتم WCA که کد نویسی آن در قسمت برنامه‌نویسی نرم‌افزار متلب انجام شد، از چند تابع محک استاندارد استفاده شده است که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است. تعداد اعضای جمعیت و تعداد ارزیابی تابع هدف در هر الگوریتم یکسان و متناسب با بعد هر تابع بوده و تعداد تکرار برابر ۱۰۰۰ است.

همانطور که از نتایج جدول (۲) مشاهده می شود، تأیید پیدا کردن نقطه بهینه سراسری توسط الگوریتم چرخه آب توسط توابع محک استاندارد مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج حاصله نشان‌دهنده عملکرد بی‌نظیر این الگوریتم است. بعد از گردآوری اطلاعات مورد نیاز و محاسبه نیاز آبی با رابطه پنمن مانتیث که یک روش مرجع برای محاسبه نیاز آبی است و براورد میزان خالص آب مورد نیاز گیاهان زراعی متناسب با ویژگی‌های گیاه و اقلیم منطقه (نتایج در جدول (۳) ذکر شده است)، با توجه به محدودیت‌ها و قیدهای مسئله، الگوی بهینه اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری ورامین با هدف حداکثرسازی سود با استفاده از الگوریتم چرخه آب تعیین شد. از آنجا که الگوریتم چرخه آب یک الگوریتم تکاملی جدید بود برای صحت‌سنجی نتایج، مدل با الگوریتم ژنتیک و مدل برنامه‌ریزی خطی نیز اجرا شد و همچنین از چند تابع محک استاندارد که در بالا به آن اشاره شد، به بررسی نتایج حاصل از الگوریتم چرخه آب پرداخته شد. پارامترهای مورد نیاز برای رسیدن به بهترین جواب توسط الگوریتم چرخه آب به این صورت بود که تعداد اجرا ۱۰ بار، تعداد قطرات باران برابر ۲۰۰ قطره، تعداد متغیرهای تصمیم ۱۰ و تعداد رودخانه برابر ۲۰ درنظر گرفته شد. همچنین میزان منابع موجود در منطقه که شامل منابع آب و سطح زیر کشت است، به‌ترتیب برابر ۱۱۹ میلیون متر مکعب و ۶۰۰۰۰ هکتار است. منابع آب در سال‌های اخیر کاهش چشمگیری داشته است به‌طوری که میانگین ۹ ساله آن از ۸۰ تا ۸۸ برابر ۲۰۹ میلیون مترمکعب بوده است و این میزان در سال‌های اخیر به حدود ۱۲۰ میلیون مترمکعب رسیده است که در سال زراعی ۹۵-۹۴ مقدار آن برابر ۱۱۹ میلیون متر مکعب بوده است. بر اساس نتایج پژوهش که در جدول (۴) آمده است، سطح زیر کشت فعلی منطقه بهینه نبوده و سطح زیر کشت غلات و یونجه در حالت بهینه به صفر رسیده است و این در حالی است که سطح زیر کشت محصولاتی مانند گندم و جو در حال حاضر بیشتر از نیمی از سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است. سطح زیر کشت محصولات جالیزی و سبزیجات افزایش داشته است و سطح زیر کشت محصولات صنعتی مانند کلزا به‌میزان قابل توجهی افزایش داشته است که نشان از عملکرد بالای این محصول در مقابل میزان مصرف آب است که توصیه می‌شود برای بهره‌وری درست از آب و افزایش سود حاصل از زراعت، به کشت این محصول اقدام شود. در جدول (۵) نیز سود حاصله از هر دو اجرا آورده شده است که نسبت به وضعیت کنونی با وجود کاهش مساحت سطح زیر کشت و باقی ماندن مقداری آب که بسیار مفید است، حدود ۱۱ درصد افزایش را نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج، در جدول (۶) سود حاصله از الگوی کشت بهینه با به‌کارگیری دو الگوریتم فراکاوشی چرخه آب و ژنتیک و مدل برنامه‌ریزی خطی نشان داده شده است. همانطور که مشخص است نتایج الگوریتم چرخه آب با تقریب بسیار بالایی با نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک همخوانی دارد و کاملاً منطبق بر مدل برنامه‌ریزی خطی است که حاکی از قدرت و دقت بالای این الگوریتم در حل مسائل بهینه‌سازی است. لازم به ذکر

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. مقایسه عملکرد با استفاده از توابع محک

تابع	بعد	فرمول	مقدار بهینه	الگوریتم چرخه آب
Goldesten-price	۲	$F_1(X)=\left[1+(X_1+X_2+1)^2(19-14X_1+3X_2^2-14X_2+6X_1X_2+3X_2^2)\right]\times \left[30(2X_1-3X_2)^2(18-32X_1+12X_1^2+48X_2-36X_1X_2+27X_2^2)\right]$	۳	۳
Maccormick	۲	$F_1(X)=\sin(X_1+X_2)+(X_1+X_2)^2-1.5X_1+2.5X_2+1$	-۱/۹۱۳۳	-۱/۹۱۳۲
Shekel	۴	$F_4(X)=-\sum_{i=1}^{m}(\sum_{j=1}^{4}(X_j-C_{ij})^2+\beta_i)^8-1$	-۱۰/۵۳۶۴	-۱۰/۵۳۲

جدول ۳. نیاز آبی نهایی محصولات

		نیاز آبی نهایی به تفکیک نوع محصول (میلی‌متر در ماه)					
		نباتات علوفه‌ای				غلات	
		یونجه	ذرت علوفه‌ای	جالیزی	محصولات صنعتی	سبزیجات	جو	گندم
ماه	فروردین	۷۶/۹۲۶	۰	۸۶/۳۵۴	۳۱/۹۰۱	۰	۲۵/۴۷۶	۲۵/۴۷۶
	اردیبهشت	۱۱۱/۵۱۲	۰	۱۴۶/۵۹۷	۰	۰	۳/۸۷۳	۳۳/۶۹۶
	خرداد	۱۶۸/۷۲۳	۶۷/۷۴۳	۱۵۸/۴۵۲	۰	۳۸/۹۲۳	۰	۰
	تیر	۱۷۷	۱۴۵/۴۷۳	۵۰/۸۰۰	۰	۱۷۷/۵۴۵	۰	۰
	مرداد	۱۶۵/۶۹۸	۸۴/۱۸۶	۰	۰	۱۷۱/۶۷۵	۰	۰
	شهریور	۱۴۲	۶۴/۰۹۲	۰	۰	۱۱۹/۵۴۰	۰	۰
	مهر	۸۴/۱۵۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	آبان	۱۹/۷۸۱	۰	۰	۳/۴۹۷	۰	۷/۷۴۲	۷/۷۴۲
	آذر	۸/۱۷۱	۰	۰	۱۵/۱۳	۰	۱۸/۹۸۲	۱۸/۹۸۲
	دی	۰	۰	۰	۱۰/۲۳۴	۰	۱۳/۹۴۲	۱۳/۹۴۲
	بهمن	۷/۱۲۵	۰	۰	۳۵/۳۹	۰	۲۹/۸۴۸	۱۷/۳۷۸
	اسفند	۲۱/۴۱۵	۰	۱۴/۵۸۵	۵۷/۳۵۵	۰	۲۸۴/۶۶	۹۷/۷۹
	جمع کل	۹۸۲/۵۰۵	۳۶۱/۴۹۴	۴۴۲/۲۰۳	۱۵۳/۵۰۷	۵۰۷/۶۸۳	۱۶۴/۸۷۰	۲۱۵/۰۰۵

جدول ۴. سطح زیر کشت به تفکیک محصول

سطح زیر کشت	یونجه	ذرت علوفه‌ای	جالیزی	محصولات صنعتی	سبزیجات	جو	گندم
هکتار	۲۰۰۰	۵۵۰۰	۲۰۰۵	۲۲۰	۱۴۲۰	۱۰۱۰۰	۸۱۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. سطح زیر کشت حالت بهینه

سطح زیر کشت (هکتار)	یونجه	ذرت علوفه‌ای	جالیزی	محصولات صنعتی	سبزیجات	جو	گندم
چرخه آب	۰	۵۲۳۰/۸	۴۷۰۵	۱۳۹۴/۸۲	۱۴۲۰	۰	۰
ژنتیک	۱/۷۷	۵۲۱۱/۳۲۷	۴۷۰۹/۵۲	۱۲۹۴۰/۵	۱/۳۴	۷۸۴/۴۲۷۲	۵۸/۶۳۱۶۴
برنامه‌ریزی خطی آب	۰	۵۲۳۰/۸	۴۷۰۵	۱۳۹۴/۸۲	۱۴۲۰	۰	۰

جدول ۶. سود حاصل از الگوی کشت بهینه

	سود حاصله (ریال)
الگوریتم چرخه آب	۵/۲۶۵۹۳E +۱۲
الگوریتم ژنتیک	۵/۲۰۹۴E +۱۲
مدل برنامه‌ریزی خطی	۵/۲۶۵۹۳ E+۱۲

جدول ۷. مقدار آب باقیمانده در ماه‌های مختلف

ماه	آب ورودی به شبکه (میلیون مترمکعب)	آب باقیمانده در شبکه (میلیون مترمکعب)
فروردین	۹	۰/۴۸۶۸۰۴
اردیبهشت	۲۱	۱۴/۱۰۱۴۳
خرداد	۱۱	۰
تیر	۱۰	۰
مرداد	۱۱	۶/۵۹۶۳۵۱
شهریور	۱۰	۶/۶۴۷۴۵۸
مهر	۸	۸
آبان	۸	۷/۵۱۲۲۰۴
آذر	۷	۴/۸۸۹۵۹۹
دی	۶	۴/۵۷۲۵۴۷
بهمن	۹	۴/۰۶۳۶۹۹
اسفند	۸	۰

است که ضریب همبستگی آن برابر R^2 = ۰/۹۹۶۳ به‌دست آمد. همچنین مقداری آب بر اساس الگوی بهینه در شبکه باقی می‌ماند که مقدار آن در جدول (۷) آورده شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش مصرف آب، توجه به تخصیص منابع بهینه آب نیاز است. در دهه‌های اخیر، استفاده از روش‌های تکاملی هوشمند

www.SID.ir

Archive of SID

برای بهینه‌سازی تخصیص آب گسترش پیدا کرده است. هدف از این مطالعه، توسعه یک مدل برنامه‌ریزی منابع آب برای تعیین کشت مناسب، بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی و منابع آب و همچنین نحوه تخصیص آب در میان محصولات کشاورزی به‌منظور به حداقل رساندن اثرات جانبی ناشی از کمبود آب و افزایش درامد آن است. در این مطالعه به‌منظور به حداکثر رساندن سود و کاهش حداکثری مصرف آب، براورد نیاز آب به محصول در دوره‌های مختلف برای بهینه‌سازی مدیریت الگوهای برداشت و مدیریت آبیاری در کشت در شبکه آبیاری ورامین با استفاده از الگوریتم تکاملی جدید چرخه آب استفاده شد. سپس برای اعتبارسنجی روش، نتایج آن با مدل برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک مقایسه شد (R^2 = ۰/۹۹۶۳) نتایج نشان داد که الگوی کاشت منطقه مطلوب نبوده و کشت محصولاتی نظیر گندم، جو، گوجه‌فرنگی، خربزه و یونجه به صفر رسیده است. در الگوی جدید، بیشترین سطح زیر کشت به محصولات صنعتی مانند کلزا و پس از آن به خیار و ذرت اختصاص داده شد در حالی که درامد حدود ۱۱ درصد افزایش یافت. علاوه‌بر آن، مقداری آب در ماه‌های مختلف در شبکه باقی می‌ماند که می‌توان از آنها به‌منظور تزریق به سفره‌های زیرزمینی و یا کشت سایر محصولات بر اساس میزان آب موجود استفاده کرد.

منابع مورد استفاده

1. Asadzadeh, A., S. Khodaverdizadeh, K. Beheshti and A. Shomali. 2015. A study of the effect of population growth on per capita GDP in Iran using an ARDL appraoch. *Journal of Applied Economics Studies in Iran* 4(14): 69-87. (In Farsi).
2. Bagherian, A. and A. Salehi. 2007. Optimization of cropping Pattern in Kazeroon Region using linear programming Method. *In:* Proceeding of the 6th National Conference of Agricultural Economics. Iranian Agricultural Economics Society. Mashhad. Iran. (In Farsi).
3. Baghipour, R., S. M. Hosseini and Z. Boor. 2014. A water cycle algorithm for optimal allocation of DGs in distribution system considering environmental profit. International. *Journal of Mechatronics Electrical and Computer Technology* 4(11): 430-454.
4. Bozorg Haddad., O., M. Moravej and H. A. Loaiciga. 2014. Application of the water cycle algorithm to the optimal operation of reservoir systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 141(5): 1943-4774.
5. Eskandar., H., A. Sadollah, A. Bahreininejad and M. Hamdi. 2012. Water cycle algorithm -a novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems. *Journal of Computer and Structure* 110: 151–166.
6. Ghahreman, b. 1992. Irrigation water for crops by linear programming optimization expertise stochastic reservoir Single-purpose. Ph.D Thesis, Soil Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University.
7. Gopi, A., K. V. Subbaiah and N. R. Kandukuri. 2011. Land allocation strategies through genetic algorithm approach–a case study. *Global Journal of Research in Engineering* 11(5): 7-14.
8. Hoseini, M and M. Vafaei Jahani. 2012. New evolutionary algorithm based on water cycle in nature. *In:* Proceeding of the 4th Iranian Conference on Electerical and Electeronics Engineering. Islamic Azad University, Gonabad, Iran. (In Farsi).
9. Khashei Sivki, A. 2011. Developing a pumping model from groundwater resources for optimal cropping pattern and intensification. PhD. Thesis, Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Tarbait Modares University. Tehran, Iran. (In Farsi).
10. Lamers, J. 1994. Comparative advantage of single and multi purpose uses of millet in Nigeria. *Journal of Agriculture Ecosystem and Environment* 7(1): 23-35.
11. Mohsen zade, F. 2012. The effect of cropping patterns to maximize profit and optimize water use efficiency of different methods of planning. MSc. Thesis, Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan University.
12. Sadradini, A.A. and H. Kiyanfar. 2011. Optimal water allocation for Sufi-chay irrigation and drainage network in East Azerbaijan province of Iran using genetic algorithm. *Journal of Irrigation and water Engineering* 2(5):52-61. (In Fasi).
13. Singh, D. K., C. S. Jaiswal, K. S. Reddy, R. M. Singh and D. M. Bandarkar. 2001. Optimal cropping pattern in a canal command area. *Journal of Agriculture Water Management* 50: 1-8.
14. Torkamani, J. and M. HajiRahimi. 1997. Apply of goal programming in detemining the optimal program of agricultural units (Case study:West Azerbaijan Province). *Journal of Agricultural Economics and Development* 20: 39-51. (In Farsi).

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 3, Fall 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Using of Metaheuristic Water Cycle Algorithm in order to Determine Optimal Crop Cultivation across of Genetic Algorithm and linear programming (Case Study: Varamin Irrigation Network)

N. Ganji Khorramdel[1*], M. Abdoos[1] and S. M. Hoseini Mooghaari[2]

(Received: January 30-2018 ; Accepted: August 14-2018)

Abstract

Due to water use increasing, attention to optimal water resources allocation is needed. In recent decades, the use of intelligent evolutionary methods for optimization of water allocation was focused more by researchers. The aim of this study is to development on water resources planning model that determined the proper cultivation, optimal exploitation of groundwater and surface water resources although water allocation among crops is a way to minimize the adverse effects of dehydration and increase its revenue. In this study, for maximizing profits, estimating crop water requirements at different periods to optimize the management of cropping patterns and irrigation management in cultivation in Varamin irrigation network using a new evolutionary algorithm was called the water cycle. Then for validation of this method is that a new approach and ensure the integrity of its performance Its results are compared with a genetic algorithm model and linear programming as our base (R^2=0.9963). The results showed that the area cropping pattern was not optimal and the area under cultivation of crops such as wheat, barley, tomatoes, Bamjan, melon, alfalfa reaches zero and the new paradigm of the largest area under cultivation to industrial goods and then was assigned cucumbers. While our revenues have increased about 11 percent. In addition to amount of water in different months remain in the network that can be used for many that such as injection into underground aquifers or other crops based on the amount of water available.

Keywords: Metha-heuristic Optimization, Cultivation Pattern, Crop Yield, Water Cycle Algorithm, Genetic Algorithm

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Arak University, Arak, Iran.
2. Department of Water Resources Engineering, Tehran University, Karaj, Iran.
*: Corresponding Author, Email: naser.ganjikhorramdel@gmail.com

www.SID.ir