

به کارگیری الگوریتم فراکاوشی چرخه آب به منظور تعیین الگوی بهینه کشت زراعی در مقایسه با الگوریتم ژنتیک و مدل برنامه ریزی خطی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری ورامین)

ناصر گنجی خرم دل^{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 دهه های اخیر، استفاده از روش های تکاملی هوشمند برای بهینه سازی تخصیص آب گسترش پیدا کرده است. هدف از این مطالعه، توسعه یک مدل برنامه ریزی منابع آب برای تعیین کشت مناسب، بهره برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی و منابع آب و همچنین نحوه تخصیص آب در میان محصولات کشاورزی به منظور به حداقل رساندن اثرات جانبی ناشی از کمبود آب و افزایش درآمد آن است. در این مطالعه به منظور به حداقل رساندن سود و کاهش حداکثری مصرف آب، برآورد نیاز آب به محصول در دوره های مختلف برای بهینه سازی 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 برنامه ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک مقایسه شد ($R^2 = 0/9963$) نتایج نشان داد که الگوی کاشت منطقه مطلوب نبوده و کشت محصولاتی نظیر گندم، جو، گوجه فرنگی، 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 درآمد حدود ۱۱ درصد افزایش یافت. علاوه بر آن، مقداری آب در ماه های مختلف در شبکه باقی می ماند که می توان از آنها به منظور تزریق به سفره های زیرزمینی و یا کشت سایر محصولات بر اساس میزان آب موجود استفاده کرد.

واژه های کلیدی: بهینه سازی 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.ganjikhorrandel@gmail.com

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 به وسیله 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 علوم است که در مدیریت و برنامه‌ریزی می‌تواند نقش مهمی را بر عهده داشته باشد. در خصوص 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 برآورد 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 درآمد خالص در منطقه‌ای از پاکستان برآورد 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 آبیاری و زهکشی صوفی چای در پایین دست 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 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). محقق 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

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 به منظور افزایش درآمد 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 به ترتیب دارای طول و عرض جغرافیایی ۴۴ و ۳۶ دقیقه تا ۵۱ و ۴۰ 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

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 برآورد سطح آب زیرزمینی شامل روش‌های عصبی، فازی عصبی، رگرسیون 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 گرفت. نتایج نشان داد که این مدل‌ها نمی‌توانند عملکرد محصولات آبی و دیم را بر اساس اطلاعات هواشناسی برآورد 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) و EMPSACO 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 چغندر قند 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، درآمد 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

یک باشد، جویبارها این توانایی را پیدا می کنند که در جهات مختلف به سمت رودخانه ها جاری شوند. بنابراین، بهترین مقدار برای C مقدار دو است. این مفهوم همچنین می تواند برای جاری شدن رودخانه ها به سمت دریا استفاده شود. بنابراین، وضعیت جدید برای جویبارها و رودخانه ها می تواند با استفاده از معادله زیر محاسبه شود.

$$X_{Stream}^{i+1} = X_{Stream}^i + rand \times C \times (X_{River}^i - X_{Stream}^i) \quad (8)$$

$$X_{River}^{i+1} = X_{River}^i + rand \times C \times (X_{Sea}^i - X_{River}^i) \quad (9)$$

که در آن، 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 می برد. بنابراین اعداد تولید شده، واقعاً تصادفی نیست. هدف این است که به نحوی اعداد تصادفی در محدوده (صفر و یک) 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 می شود (یعنی نهر، رودخانه می شود و رودخانه، نهر می شود). این تبادل نیز می تواند به همین شکل برای رودخانه ها و دریا اتفاق افتد یعنی اگر رودخانه راه حل بهتری از دریا داشته باشد، جابه جا خواهد شد (۶).

شرایط تبخیر

یکی از مهم ترین عواملی که از همگرایی سریع الگوریتم (همگرایی نابالغ) و به دام افتادن در بهینه محلی جلوگیری می کند، تبخیر است. مفهوم این پروسه از تبخیر آب دریا، از تعرق گیاهان در هنگام فتوسنتز اخذ شده است. فرایند تبخیر باعث می شود که آب دریا با تبخیر به صورت ابرها ظاهر شوند و آب دوباره به شکل باران به زمین برمی گردد و جریان رودخانه ها و یا نهرهای جدیدی تشکیل می دهند که دوباره به دریا می ریزد. شبه کد زیر چگونگی تعیین اینکه آیا رودخانه به دریا می ریزد یا نه را نشان می دهد.

که N_{POP} تعداد قطرات باران N_{var} تعداد متغیرهاست. در یک ماتریس به صورت تصادفی تشکیل شده از قطرات باران با اندازه $N_{POP} \times N_{var}$ ، هر کدام از مقادیر متغیر تعیین شده $[X_1, X_2, X_3, \dots, X_N]$ می توانند به عنوان مقادیر واقعی یا به عنوان گروه از پیش تعیین شده به ترتیب برای مسئله پیوسته یا گسسته انتخاب شوند. برازندگی یا ارزش هر سطر با استفاده از تابع هزینه (C) به صورت زیر بدست می آید.

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

پس از تشکیل دادن N_{POP} قطره باران، تعداد N_{sr} تا از بهترین آنها (که دارای بهترین مقادیر برازندگی یا کمترین ارزش هستند) به عنوان رودخانه و دریا انتخاب می شوند. قطره ای که دارای بهترین مقدار تابع باشد، به عنوان دریا انتخاب می شود. بقیه قطره ها به عنوان جویبارهایی که ممکن است به رودخانه یا به طور مستقیم به دریا بریزند، انتخاب می شوند.

$$N_{sr} = \text{Number of Rivers} + 1(\text{sea}) \quad (4)$$

$$N_{stream} = N_{POP} - N_{sr} \quad (5)$$

بسته به شدت جریان آب، که از معادله زیر محاسبه می شود، جویبارها به عنوان رودخانه ها و دریاها تلقی می شوند.

$$NS_n = \text{round} \left\{ \left\lfloor \frac{\text{cost}_n}{\sum_{i=1}^{N_{sr}} \text{cost}_i} \right\rfloor \right\} \quad (6)$$

NS_n تعداد جویبارهاست که به رودخانه یا دریای معینی می ریزند (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 به صورت زیر اعمال می شود:

$$X \in (0, C \times d) \quad (7)$$

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 $C \times d$ با هر نوع توزیعی است. اگر مقدار C بزرگ تر از

برابر ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است (۶).

مدل سازی

به طور کلی مدل های بهینه سازی از دو بخش تابع هدف و محدودیت ها تشکیل شده است که تابع هدف بر اساس هدف مورد نظر مسئله حداکثر یا حداقل می شود. در این مقاله تابع هدف به صورت زیر ارائه شده است.

$$\max(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{k=1}^n A_k P_k Y_i - \sum_{k=1}^n A_k C P_k - \sum_{k=1}^n A_k C W R_k \quad (14)$$

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)، $C P_i$ هزینه تولید (ریال)، $C W R_i$ هزینه آب مصرفی (ریال) است. این تابع هدف با توجه به محدودیت های موجود حداکثر می شود. محدودیت هایی که در مسائل الگوی بهینه کشت حائز اهمیت است شامل محدودیت زمین و محدودیت آب مصرفی است که به صورت معادله (۱۵) و (۱۶) بیان می شود. 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.

$$\sum_1^n A_i \leq A \quad (15)$$

$$\sum_1^n A_i C W R_i \leq C W \quad (16)$$

در پژوهش حاضر تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش فائو پنمن مانیتث با استفاده از داده های هفت ساله 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

روش های فراکوشی به دلیل ماهیت تصادفی آنها دارای پارامترهای

$$\text{if } |X_{\text{Sea}}^i - X_{\text{River}}^i| < d_{\text{max}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

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 می کند و همانطور که در طبیعت دیده می شود، بعد از تبخیر کافی، باران (بارش) شروع خواهد شد. d_{max} شدت جستجو در نزدیکی دریا (راه حل بهینه) را کنترل می کند. مقدار d_{max} به صورت زیر در هر مرحله کاهش می یابد (۶).

$$d_{\text{max}}^{i+1} = d_{\text{max}}^i - \frac{d_{\text{max}}^i}{\text{maxiteration}} \quad (11)$$

فرایند بارش

پس از برآورده شدن فرایند تبخیر، فرایند بارندگی اعمال می شود. این فرایند مشابه عملکرد جهش در الگوریتم ژنتیک است. در فرایند بارندگی، قطرات باران جدید نهرها را در مکان های مختلف تشکیل می دهند. برای تعیین مکان جدید نهرهای تازه شکل گرفته، از رابطه (۱۲) استفاده می شود.

$$X_{\text{Stream}}^{\text{New}} = LB + \text{randn} \times (UB - LB) \quad (12)$$

که LB و UB به ترتیب، کران پایین و بالای تعریف شده توسط مسئله است. بهترین قطرات باران جدید تشکیل شده به عنوان رودخانه و بقیه قطرات باران جدید به عنوان نهرهای جدید که به سمت رودخانه در جریان هستند و یا ممکن است به طور مستقیم به دریا برسند، در نظر گرفته می شوند. به منظور افزایش سرعت همگرایی و عملکرد محاسباتی الگوریتم برای مسائل مقید از رابطه زیر استفاده می شود.

$$X_{\text{Stream}}^{\text{New}} = X_{\text{Sea}} + \sqrt{\mu} \times \text{randn}(1, N) \quad (13)$$

μ ضربی است که محدوده جستجوی دریا را نشان می دهد. randn عدد تصادفی توزیع نرمال است. مقادیر بزرگ μ امکان خروج از منطقه امکان پذیر را افزایش می دهد و مقادیر کوچک μ منجر به جستجوی الگوریتم در منطقه کوچک تر در نزدیکی دریا می شود. مقدار مناسب μ ، ۰/۱ تعیین شده است. معیار همگرایی در این پژوهش حداکثر تعداد تکرار بوده و

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

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

برابر ۲۰ در نظر گرفته شد. همچنین میزان منابع موجود در منطقه که شامل منابع آب و سطح زیر کشت است، به ترتیب برابر ۱۱۹ میلیون متر مکعب و ۶۰۰۰۰ هکتار است. منابع آب در سال‌های اخیر کاهش چشمگیری داشته است به طوری که میانگین ۹ ساله آن از ۸۰ تا ۸۸ برابر ۲۰۹ میلیون متر مکعب بوده است و این میزان در سال‌های اخیر به حدود ۱۲۰ میلیون متر مکعب رسیده است که در سال زراعی ۹۴-۹۵ 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 محصولاتمانند 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 به میزان 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 به کارگیری 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

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 به صورت جدول (۱) انتخاب شده‌اند. برای بررسی کارآمدی 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 می‌شود، 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 مانیتث که یک روش مرجع برای محاسبه نیاز آبی است و برآورد 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

جدول ۲. مقایسه عملکرد با استفاده از توابع محک

تابع	بعد	فرمول	مقدار بهینه	الگوریتم چرخه آب
Goldsten-price	۲	$F_1(X) = [1 + (X_1 + X_2 + 1)^2(19 - 14X_1 + 3X_2^2 - 14X_2 + 6X_1X_2 + 3X_2^2)] \times [30(2X_1 - 3X_2)^2(18 - 32X_1 + 12X_1^2 + 48X_2 - 36X_1X_2 + 27X_2^2)]$	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 (میلی متر در ماه)

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

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

جدول ۵. سطح زیر کشت حالت بهینه

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

جدول ۶. سود حاصل از الگوی کشت بهینه

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

جدول ۷. مقدار آب باقیمانده در ماه‌های مختلف

آب باقیمانده در شبکه (میلیون مترمکعب)	آب ورودی به شبکه (میلیون مترمکعب)	ماه
۰/۴۸۶۸۰۴	۹	فروردین
۱۴/۱۰۱۴۳	۲۱	اردیبهشت
۰	۱۱	خرداد
۰	۱۰	تیر
۶/۵۹۶۳۵۱	۱۱	مرداد
۶/۶۴۷۴۵۸	۱۰	شهریور
۸	۸	مهر
۷/۵۱۲۲۰۴	۸	آبان
۴/۸۱۹۵۹۹	۷	آذر
۴/۵۷۲۵۴۷	۶	دی
۴/۰۶۳۶۹۹	۹	بهمن
۰	۸	اسفند

نتیجه‌گیری

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

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

ژنتیک مقایسه شد ($R^2 = 0/9963$) 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 درآمد حدود ۱۱ درصد افزایش یافت. علاوه بر 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.

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 درآمد آن است. در این مطالعه به‌منظور به حداکثر رساندن سود و کاهش حداکثری مصرف آب، برآورد 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

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 approach. *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 Electerics 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. Ph.D. 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. Kiyandar. 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).

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. Abdoos¹ and S. M. Hoseini Mooghaari²

(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.ganjikhorrampdel@gmail.com