

مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی با رویکردی ترکیبی به سامانه‌های اطلاعات مکانی، الگوریتم کلونی مورچگان و مسئله فروشنده دوره‌گرد

اردلان عبدالله‌زاده^۱، علیرضا وفايي نژاد^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۰۲/۱۲؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۸/۱۸)

چکیده

افزایش جمعیت، مصرف بی‌رویه، توسعه کشاورزی و تغییرات آب‌وهوایی باعث شده تا منابع آب موجود روند کاهشی داشته باشند و به مرحله بحرانی برسند. این معضل در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران، ملموس‌تر است. به این منظور، باید سیاست‌های مهمی اتخاذ شوند تا مدیریت منابع آب بهبود یابد و هدررفت آب به حداقل برسد. هدف از انجام این پژوهش، کمک به بهبود مدیریت توزیع آب در شبکه آبیاری شهرستان قره ضیاءالدین با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و بهره‌گیری از الگوریتم کلونی مورچه است. در این مقاله، ابتدا مساحت بهینه به منظور کاشت هر محصول با طراحی یک تابع هدف و اعمال قيودی نظیر بیشترین و کمترین مساحت کشت برای هر محصول در زمین کشاورزی مورد نظر، محاسبه شد. سپس، محصولات با رویکردی ترکیبی به الگوریتم کلونی مورچه و روش حل مسئله فروشنده دوره‌گرد اولویت‌بندی شدند تا محصولات با دوره آبیاری طولانی‌تر و نیاز آبی بیشتر در ابتدای کانال انتقال آب قرار گیرند تا به این وسیله، بتوان به جلوگیری از هدررفت آب در خط لوله انتقال آب کمک کرد. در پایان پژوهش، مساحت‌های بهینه به‌دست‌آمده به عنوان داده‌های ورودی به محیط GIS منتقل شدند تا نتایج به‌دست‌آمده در منطقه مطالعه‌شده به صورت مکانی، تحلیل و ارزیابی شوند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد رویکرد ترکیبی استفاده از الگوریتم کلونی مورچه و بهره‌گیری از مسئله فروشنده دوره‌گرد، می‌تواند مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری را بهبود بخشد. همچنین، با اعمال روش یادشده، علاوه بر کمک به جلوگیری از هدررفت آب در خطوط لوله انتقال، سود سالیانه حاصل در اراضی کشاورزی مورد تحقیق ۱۰ درصد افزایش یافته است.

کلیدواژگان: توزیع آب، سیستم اطلاعات مکانی، شبکه‌های آبیاری و زهکشی، کلونی مورچگان، مسئله فروشنده دوره‌گرد.

مقدمه

پدیده تغییر اقلیم، گرم شدن زمین و افزایش رشد سریع جمعیت به بروز مشکلاتی نظیر کاهش منابع آبی در اغلب مناطق کره زمین منجر شده است. از این رو، رفع مشکل کم آبی موضوعی مهم و حیاتی در کشورهای در حال توسعه و حتی توسعه یافته تلقی می شود. برای مثال، ایران یکی از کشورهایی است که به دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک دچار مشکلات کم آبی است، به همین دلیل رفع مشکل کم آبی و استفاده بهینه از منابع آبی در این کشور با اهمیت است. در ایران، زراعت های آبی پایه کشاورزی کشور به حساب می آید. به رغم سهم ۹۰ درصدی بخش کشاورزی از مصرف منابع آب کشور، متوسط بازده آبیاری در این بخش کمتر از ۳۰ درصد برآورد شده است؛ در حالی که در کشورهای توسعه یافته بازده آبیاری ۴۵ درصد محاسبه شده است. برای حفظ و بهبود شرایط فعلی در ایران، باید ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال افزود. دستیابی به چنین امری، بسیار مشکل و حتی ناممکن خواهد بود. بنابراین، بهترین راهکار به منظور حفظ منابع آبی، مدیریت سازمان یافته از منابع موجود و همچنین، جلوگیری از هدررفت آب در شبکه های انتقال آب است [۱].

امروزه عامل اصلی محدود کننده توسعه، محدود بودن منابع آبی است. بنابراین، مدیریت آب اهمیت ویژه ای دارد. مدیریت منابع آب باید نسبت به حفاظت از منابع آبی و همچنین، بهینه سازی تخصیص منابع آب اقدام ورزد. یکی از چالش های اساسی و اصلی نهادهای مدیریتی، برطرف کردن تعارض ها میان تقاضای آب در بخش های صنعتی، کشاورزی، شهری و سایر بخش های رقابت کننده بر سر منابع آبی است [۲]. بی نیاز و همکاران (۱۳۹۹) طی تحقیقی بیان کرده اند که بیش از ۹۰ درصد منابع آبی کشور در بخش کشاورزی استفاده می شود. در نتیجه، مسائل مربوط به آب، یکی از نیازهای اساسی تحقیقاتی کشور به حساب می آید و هر گونه تغییر و بهبود در مدیریت توزیع آب، بر توسعه کشاورزی و آبیاری نیز تأثیر خواهد گذاشت [۳].

علاوه بر محدود بودن منابع آبی، هدررفت بیش از حد آب در مزارع ایران به هنگام انتقال، توزیع و همچنین مصرف، باعث کاهش بازده آبیاری شده و سبب بروز

مشکلاتی مانند تخلیه سریع منابع آبی شده است. مستوفی و صابریان (۱۳۹۵) در تحقیقی تحت عنوان «استفاده از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) در بهینه سازی برنامه ریزی آبیاری از سدهای مخزنی»، بیان کرده اند که حدود ۶۰ درصد آب شرب در بخش کشاورزی به هدر می رود و به گیاه نمی رسد. قسمتی از این تلفات آب اجتناب ناپذیر است، اما قسمتی را می توان توسط مدیریت صحیح اصلاح کرد [۴]. سیستم اطلاعات مکانی یک ابزار توانمند برای تجزیه و تحلیل داده ها و یک سکو برای یکپارچه سازی لایه های مختلف اطلاعات به شمار می آید و امکان دست کاری اطلاعات مکانی به روش های مختلف را به کاربر می دهد [۵].

به دلیل اهمیت روزافزون مدیریت منابع آب در سراسر جهان، محققان بسیاری روش ها و الگوریتم های گوناگونی را استفاده کرده اند. پیشرفت علم در روش های بهینه سازی باعث شده است تا الگوریتم های گوناگونی در زمینه بهینه کردن منابع ارائه شود که بیشتر این روش ها به گونه ای از طبیعت الهام گرفته اند [۶]. با توجه به پیچیدگی های روش های بهینه سازی معمول، بهره گیری از الگوریتم های فراکاوشی مورد توجه قرار گرفته است. الگوریتم های فراکاوشی به عنوان یک ابزار بهینه سازی در حوزه های مختلف، از جمله مدیریت منابع آب استفاده شده اند. سهولت استفاده، وسعت دامنه کاربرد و امکان دستیابی به جواب بهینه مطلق، از دلایل موفقیت این الگوریتم ها به شمار می رود. الگوریتم کلونی مورچگان، از مهم ترین این الگوریتم ها به حساب می آید. در این تحقیق، برای بهبود و اصلاح مدیریت شبکه آبیاری مربوطه، از الگوریتم یاد شده استفاده شده است.

هدف اصلی این تحقیق، مدیریت توزیع آب در شبکه های آبیاری و زهکشی به کمک روش بهینه سازی کلونی مورچگان و روش حل مسئله فروشنده دوره گرد است. در این مقاله، به منظور کمک به توزیع عادلانه و اصولی آب به دشت ها و اراضی پایین دست رودخانه ها و جلوگیری از هدررفت آب در آبیاری های بلندمدت، سعی خواهد شد تا با بهره گیری از روش بهینه سازی یاد شده و پیاده سازی آن در محیط GIS بتوان روند آبرسانی در شبکه های آبیاری و زهکشی را تقویت کرد. الگوریتم کلونی مورچه، شیوه نوینی در مبحث بهینه سازی است که به رغم تازگی آن، بسیار مورد

مخازن آب سطحی با رعایت قیدهای امکان‌پذیری»، فریبرز معصومی و همکاران (۱۳۹۹) از الگوریتم ملخ در مسئله بهره‌برداری از سد دز استفاده کرده‌اند. در این پژوهش، بهره‌برداری از سد در دو حالت برق‌آبی و مصارف کشاورزی بررسی شده است. نتیجه این تحقیق، قابلیت زیاد الگوریتم ملخ در دو حالت بهره‌برداری از سد دز است که در مقایسه با الگوریتم ژنتیک نیز توانسته است جواب برتری به پژوهشگران بدهد. همچنین، این الگوریتم قادر خواهد بود جواب بهینه را تا حدود ۱۲ درصد بهبود بخشد [۱۰].

در مقاله دیگری، کرد و همکاران (۱۳۹۸) به بهینه‌سازی برداشت آب آبخوان در دشت اردبیل پرداخته‌اند. از آنجا که بهره‌برداری بیش از حد آب زیرزمینی در این دشت منجر به افت سطح ایستایی حدود ۱۲ متر شده است، بنابراین در این پژوهش، راهکاری برای جلوگیری از افت بیشتر سطح ایستایی و در صورت امکان، جبران کاهش ذخیره آبخوان ارائه شده است. در این پژوهش، ابتدا مدل مفهومی دشت آبخوان بر اساس پروتکل مدل‌سازی تهیه و پایگاه داده‌ای در محیط ArcGIS تشکیل شده است. سپس، جریان آب زیرزمینی در آبخوان با استفاده از پارامترهای ورودی و خروجی، پارامترهای هیدرولیکی و سیستم جریان آب زیرزمینی در نرم‌افزار PMwin8 مدل‌سازی شد. پس از مدل‌سازی، این آبخوان به ۱۵ بخش بر اساس مقدار افت تقسیم شده است و در نهایت، توسط روش‌های بهینه‌سازی، برداشت حداکثری از این آبخوان محاسبه شده است. نتیجه این پژوهش تهیه نوعی مدل مفهومی کامل از منطقه مطالعه شده است که در آن مرزهای ورودی و خروجی، هندسه آبخوان، ارتباط هیدرولیکی آبخوان و همه فاکتورهای لازم که در بررسی هیدروژئولوژیکی یک منطقه لازم است، تعیین شده‌اند که با استفاده از آن می‌توان برداشت آب از آبخوان را مدیریت و کنترل کرد [۱۱].

مریم جوان صالحی و همکاران (۱۳۹۸) به بهبود مدل‌های شبیه‌سازی-بهینه‌سازی در مدیریت سامانه‌های انتقال آب پرداخته‌اند. در این تحقیق، به بررسی استفاده از روش کنترل پیش‌بین برای بهبود مدیریت حجم آب ذخیره‌شده در مخازن خطوط انتقال آب پرداخته شده است. کنترل پیش‌بین نوعی مدل کنترل مدرن است که به دلیل عملکرد مناسب نسبت به تغییرات ناگهانی مدل، مورد توجه

استقبال و استفاده محققان واقع شده است. روش بهینه‌سازی جامعه مورچه‌ها، همان‌طور که از نام آن پیداست، از زندگی مورچه‌ها الهام گرفته و ارائه شده است. مورچه‌ها از آن دسته حشراتی هستند که به صورت اجتماعی زندگی می‌کنند و قادرند مسائل مختلفی را به کمک هم و به صورت بهینه حل کنند. الگوریتم جامعه مورچه‌ها، یکی از نمونه‌های موفق سیستم‌های هوشمند به حساب می‌آید که می‌تواند با الگوی تصادفی خود، ضمن اجرای الگوریتم، از جواب‌های قبلی برای هدایت جست‌وجو و ساختن جواب جدید نیز بهره برد [۷]. از الگوریتم کلونی مورچه‌ها می‌توان در مباحث مدیریت ترافیک شهری (مسیریابی خودروها)، مسائل تخصیص منابع (مدیریت منابع)، مسیریابی در شبکه‌های مخابراتی و مسائل بهینه‌سازی گسسته استفاده کرد.

مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP^1)، به منظور یافتن کوتاه‌ترین مسیر برای یک فروشنده دوره‌گرد مطرح شده است و یکی از مسائل پرکاربرد و مهم در علوم کامپیوتر به شمار می‌رود. این مسئله باید به گونه‌ای طراحی شود که در آن فروشنده به ترتیب خاصی از تمامی شهرهای مورد نظر عبور کند، به گونه‌ای که از هر یک از این شهرها فقط و فقط یک بار عبور کند و در نهایت، به شهر مبدأ باز گردد. مسافت کلی که این فروشنده می‌پیماید، به ترتیبی که از شهرها عبور می‌کند، وابسته است. بنابراین، هدف اصلی این مسئله را می‌توان یافتن مسیر بهینه در نظر گرفت، به گونه‌ای که اهداف هزینه‌ای در نظر گرفته شده بهینه‌سازی شوند [۸]. در این پژوهش، از روش حل مسئله فروشنده دوره‌گرد توسط الگوریتم کلونی مورچه برای اولویت‌بندی کاشت محصولات مورد نظر استفاده شده است.

پیشینه تحقیق

از آنجا که تغییر اقلیم و وقوع خشکسالی‌های بلندمدت از چالش‌های اصلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به حساب می‌آیند، در نتیجه مدیریت منابع آب در چنین مناطقی اهمیت زیادی یافته و باعث شده است تا محققان بسیاری برای رفع این معضل، راهکارهای گوناگونی ارائه دهند [۹]. برای مثال، در یک مقاله تحت عنوان «بررسی قابلیت الگوریتم بهینه‌سازی ملخ در بهره‌برداری بهینه از

از آنجا که رقابت بر سر آب بین بخش کشاورزی و محیط زیست افزایش یافته است، بنابراین دهقانی‌پور و همکاران (۲۰۲۰) در مقاله‌ای به مدیریت آب در حوضه آبریز اطراف دریاچه ارومیه پرداخته‌اند. در این تحقیق، نوعی روش بهینه‌سازی- شبیه‌سازی ارائه شده است تا مدیریت آب در حوضه آبریز اصلاح شود. در این پژوهش، سه استراتژی اصلی در نظر گرفته شده است. ابتدا، جریان حداقل مورد نیاز برای ارضای نیازهای زیست‌محیطی به عنوان متغیر در تابع هدف در نظر گرفته شده است. سپس، از مدل‌های شبیه‌سازی WEAP و MODFLOW استفاده شده است؛ و در نهایت، از نوعی مدل بهینه‌سازی چندمنظوره نیز بهره گرفته شده تا نیازهای زیست‌محیطی و کشاورزی در آن محاسبه شوند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد با اعمال روش یادشده، سود حاصل در بخش کشاورزی ۲۴ درصد افزایش یافته است [۱۵].

جیانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۹) طی تحقیقی، راهکاری را به منظور بهینه‌سازی توزیع آب آبیاری در سیستم آبیاری پمپاژی در ناحیه نینگ شیآ^۴ در شمال چین ارائه داده‌اند. این مدل بر مبنای متد تجزیه و هماهنگی بین سطوح مختلف آبیاری (شامل سه سطح از مناطق کلی به مناطق جزئی) طراحی شده است. در این مدل، حداقل مقدار قابل قبول کمبود آب و هزینه به عنوان قیود مسئله در نظر گرفته شده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد مقدار کمبود آب به مقدار قابل توجهی کاهش یافته و پمپاژ آب به ناحیه‌های کم‌آب افزایش یافته است؛ که چنین نتیجه‌ای نشان می‌دهد مدیریت صحیح توزیع آب توسط این مدل صورت گرفته است. مدل ارائه‌شده در این پژوهش در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی و در زمینه آبیاری مؤثر بوده و نتایج قابل توجهی را در بر داشته است [۱۶].

همان‌گونه که در این بخش ملاحظه شد، با توجه به اهمیت زیاد این موضوع، راهکارهای نوین و به‌صرفه جایگزین راهکارهای قدیمی شده، بنابراین هر ساله روش‌های به‌روزتر و مناسب‌تری توسط محققان ارائه می‌شود. بهره‌گیری از رویکردی ترکیبی به الگوریتم کلونی مورچه و حل مسئله فروشنده دوره‌گرد - در محیط GIS برای کمک به بهبود مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری

قرار گرفته است. در این پژوهش با بهره‌گیری از الگوریتم کنترل پیش‌بین و با در نظر گرفتن ظرفیت پمپاژ مخازن و ایستگاه‌ها، یک کنترل‌کننده بهینه برای خط انتقال آب زرینه‌رود طراحی شده است. نتایج حاصل از اعمال این الگوریتم، نشان می‌دهد روش کنترل پیش‌بین توانسته است علاوه بر عملکرد بهتر نسبت به داده‌های اپراتوری و روش کنترلی انتگرالی درجه دوم خطی، قیود موجود در سامانه را نیز ارضا کند و نوسان پمپاژ را تا ۲۲ درصد کاهش دهد. به علاوه، الگوریتم مورد نظر موجب می‌شود تا مجموع دبی پمپاژ شده ۸ درصد از طریق بهینه‌سازی کاهش یابد [۱۲].

همچنین، سعید نقدی و همکاران (۲۰۲۱) به بهینه‌سازی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در نجف‌آباد پرداخته‌اند. کمبود آب در کشورهای در حال توسعه به دلایل متعددی نظیر افزایش جمعیت، گسترش صنعت، تغییرات آب و هوایی و همچنین، عدم مدیریت صحیح رخ می‌دهد. بنابراین، توسعه قوانین مدیریت توزیع آب می‌تواند در حد قابل قبولی این کمبود را جبران کند. در این تحقیق، از تکنیک شبیه‌سازی- بهینه‌سازی پویا (دینامیک) و ترکیب آن با روش چانه‌زنی نش (Nash's Bargaining) استفاده شده است. نتیجه حاصل از این پژوهش، کمینه کردن هدررفت آب آبخوان و مدیریت صحیح توزیع آب بوده است [۱۳].

برای برنامه‌ریزی بهینه آبیاری در اراضی کشاورزی در شرق استان کلرادو^۱، کنگ^۲ و همکاران (۲۰۱۷) راهکاری را با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان و مدل پیشرفته برداشت محصولات ارائه داده‌اند. در پژوهش یادشده سعی شده است نوعی مدل بهینه‌سازی به منظور آبیاری بهینه در یک مزرعه ذرت ارائه شود. به منظور طراحی چنین مدلی، سطوح مختلف در دسترس بودن آب (از کم تا زیاد) در اراضی مطالعه‌شده در شرق کلرادوی آمریکا در نظر گرفته شده است. نتیجه حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که مدل طراحی‌شده و برگرفته از الگوریتم شبیه‌سازی جامعه مورچگان توانسته است نتایج بهتری را در زمینه برنامه‌ریزی بهینه آبیاری، افزایش سود سالانه و کاهش استفاده از آب در مزرعه مورد نظر نسبت به متدهای استفاده‌شده قبلی ارائه دهد [۱۴].

و زهکشی - به عنوان روشی نوین در این تحقیق بررسی شده است تا در صورت حصول نتیجه مطلوب، بتوان در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی از آن کمک گرفت.

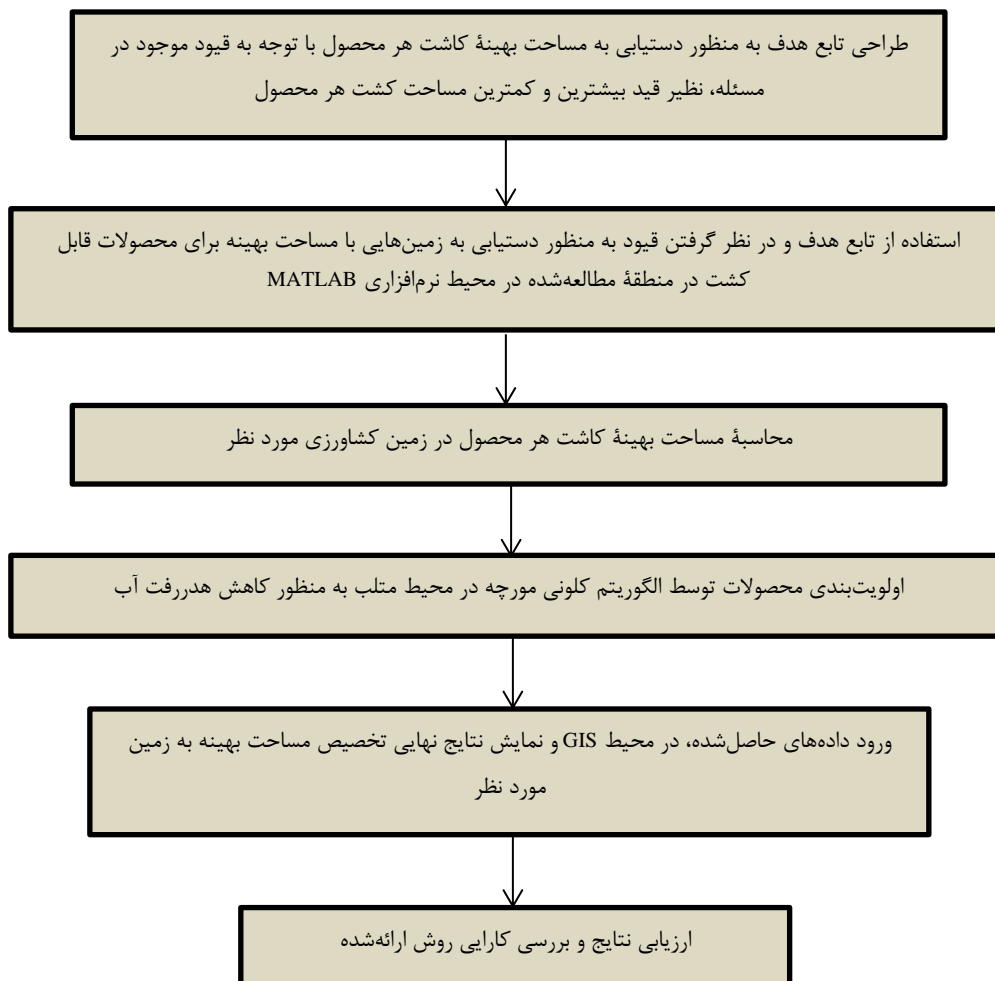
روش کار

از آنجا که هدف اصلی پژوهش حاضر، استفاده منطقی از منابع آب موجود و دستیابی به بیشترین سود در شبکه آبیاری مورد نظر است، بنابراین اولین گام برای رسیدن به هدف، انتخاب بهترین الگوی کشت است. در زمین زراعی انتخاب شده برای این تحقیق، ده محصول کشاورزی انتخاب شده است که مساحت بهینه هر محصول باید به گونه‌ای محاسبه شود تا سود حاصل در شبکه، حداکثر و هدررفت آب، حداقل شود.

طبق فلوچارت ارائه‌شده در شکل ۱، به منظور

بهینه‌سازی و تخصیص الگوی کشت بهینه، مراحل ذیل اجرا شده‌اند. ابتدا یک تابع هدف برای دستیابی به مساحت بهینه کاشت محصولات و با در نظر گرفتن قیدهای مسئله - که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد - طراحی شد. سپس طبق این تابع هدف، مساحت بهینه کاشت هر محصول در زمین زراعی مورد نظر به دست آمد.

پس از یافتن مساحت بهینه محصولات مورد نظر، به منظور کاهش هدررفت آب در خط لوله انتقال، محصولات کشاورزی اولویت‌بندی شدند تا محصولات با نیاز آبی بیشتر در ابتدای کانال قرار گیرند. برای انجام چنین فرایندی، از الگوریتم کلونی مورچه و روش حل مسئله فروشنده دوره‌گرد استفاده شد. سپس، نتیجه پژوهش اعم از یافتن مساحت بهینه قابل کاشت و شیوه قرارگیری محصولات در زمین زراعی در GIS نشان داده شدند.

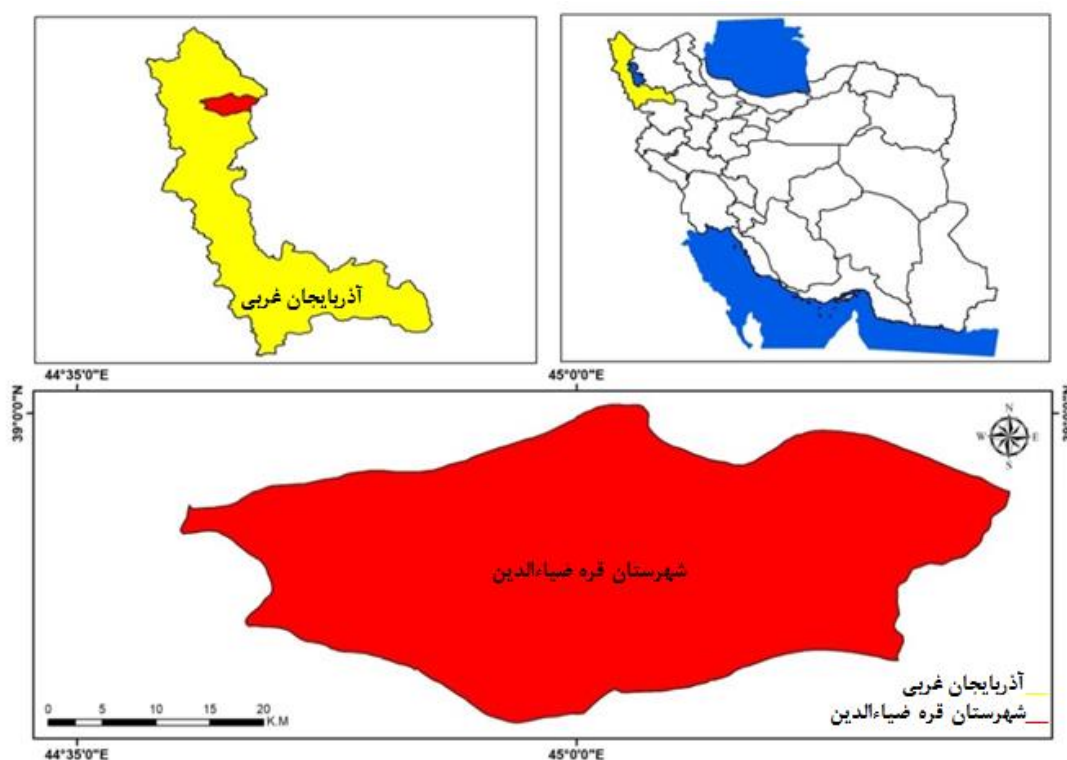


شکل ۱. مراحل انجام تحقیق برای بهبود مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری

منطقه مطالعه شده

این تحقیق روی یکی از اراضی کشاورزی دشت‌های شهرستان قره‌ضیاءالدین انجام شده است. شهرستان قره‌ضیاءالدین در بخش مرکزی شهرستان چایپاره واقع در استان آذربایجان غربی در شمال غرب ایران قرار دارد. به دلیل وجود اقلیم سرد و بارانی و بادهای باران‌آور، زمین‌های کشاورزی مهمی در این منطقه قرار گرفته‌اند. این اقلیم بارانی سبب شده است تا رشد گیاهان نسبتاً زیاد باشد و محصولات کشاورزی گوناگونی در این اراضی کاشته شوند. منطقه منتخب برای اجرای تحقیقات این مقاله، یک

قطعه زمین زراعی به وسعت ۱۱۰ هکتار است که محصولات سبزیجات، حبوبات، یونجه، ذرت دانه‌ای، چغندر قند، جو، گندم، سویا، توتون بهاره و شبدر در آن کشت می‌شوند. آبیاری این منطقه توسط یک کانال انتقال آب انجام می‌شود که در شمال زمین قرار دارد و یک انشعاب آن به داخل زمین زراعی مربوطه کشیده شده است. علاوه بر این، به دلیل آب‌وهوای بارانی، بخشی از آب مورد نیاز برای کاشت این محصولات از بارش باران طی سال تأمین می‌شود. شکل ۲ موقعیت شهرستان قره‌ضیاءالدین را در کشور نشان می‌دهد:



شکل ۲. موقعیت شهرستان قره ضیاءالدین در ایران

یافته‌های تحقیق

محاسبه مساحت بهینه محصولات

هدف اصلی این پژوهش، استفاده منطقی از منابع آب موجود و دستیابی به بیشترین سود در شبکه‌های آبیاری است. راهکارهای مختلفی برای بیشینه کردن سود محصولات کشاورزی وجود دارد تا علاوه بر حفظ منابع به صورت پایدار، امکان کسب درآمد بیشتر برای کشاورزان را نیز فراهم سازد [۱۷]. در این پژوهش نیز یکی از همین راهکارها برای دستیابی به هدف در نظر گرفته شده است.

به این منظور، باید علاوه بر طراحی تابع هدف مورد نیاز، فاکتورهایی نظیر هزینه کاشت هر کیلوگرم از محصول و هزینه عملیات سالیانه انجام‌شده روی زمین توسط آبیاری ثقلی جمع‌آوری شوند. متأسفانه، با توجه به افزایش قیمت محصولات به صورت روزانه و تغییر قیمت لحظه‌ای در بازار ایران، تمامی قیمت‌هایی که قبل و بعد از محاسبات به کار گرفته شده، ثابت در نظر گرفته شده است.

برای دستیابی به هدف عملیات بهینه‌سازی، تابع هدف ذیل در نظر گرفته شده است [۱۸]:

استفاده از متلب این است که محاسبات پیچیده ریاضی را می‌توان با نوشتن یک کد واحد انجام داد و مرحله به مرحله فرایند محاسبه را مشاهده کرد تا در صورت نیاز تغییرات لازم اعمال شوند.

به منظور یافتن جوابی دقیق، باید در نظر داشت که محدودیت‌هایی نیز در این مسئله وجود دارند که باید در محاسبه مساحت‌های بهینه لحاظ شوند. این قیود شامل قید مساحت کل و قید بیشترین و کمترین مساحت کشت برای هر محصول است. با توجه به اینکه مساحت زمین زراعی مطالعه شده ۱۰۹ هکتار است، بنابراین اولین قیدی که باید در مسئله لحاظ شود این است که مجموع مساحت‌های بهینه محصولات کشاورزی از این مقدار فراتر نرود. به علاوه، هر محصول به صورت جداگانه نیز باید دارای محدودیت بیشترین و کمترین مساحت کشت باشد. یوسف‌زاده و همکاران در تحقیقی بیان کرده‌اند که با توجه به مطالعات اولیه اراضی کشاورزی دشت‌های قره‌ضیاءالدین و همچنین تحقیقات محلی، هر یک از محصولات دارای قید بیشترین و کمترین مساحت کشت هستند [۱۸]. به این صورت که مساحت کشت هر محصول باید در محدوده مساحت تعیین شده قرار گیرد. با توجه به مساحت ۱۰۹ هکتاری زمین، بیشترین و کمترین مساحت کشت هر محصول عبارت است از:

جدول ۱. بیشترین و کمترین مساحت کشت هر محصول در مساحت ۱۰۹ هکتاری زمین (هکتار)

محصول	گندم	جو	چغندر قند	ذرت دانه ای	یونجه	حبوبات	سبزیجات	سویا	شبدر	توتون بهاره
کمترین مساحت	۲۳	۵	۵	۳	۸	۱	۷	۴	۰	۰
بیشترین مساحت	۳۴	۱۶	۱۶	۱۴	۱۹	۱۲	۱۸	۱۵	۱۱	۱۱

جدول ۲. مساحت بهینه کاشت محصولات (هکتار)

محصول	گندم	جو	چغندر قند	ذرت دانه ای	یونجه	حبوبات	سبزیجات	سویا	شبدر	توتون بهاره
مساحت بهینه	۲۴	۷	۷	۱۱	۱۲	۹	۹	۱۱	۸	۱۱

در اراضی پایین دست کانال اصلی، اکنون نوبت آن فرا می‌رسد که شیوه کاشت این محصولات در زمین‌ها اولویت‌بندی شوند، به گونه‌ای که هدررفت آب در خط لوله‌ها به حداقل رسد. شرکت آب و فاضلاب کشور، میانگین هدررفت آب در ایران را ۳۰ درصد اعلام کرده است، در حالی که این رقم در کشورهای توسعه یافته حدود ۱۶ درصد کمتر برآورد شده است. علاوه بر جایگزینی روش‌های آبیاری سنتی با روش‌های مدرن، می‌توان موارد

$$Max Zi = \varepsilon \sum_{j=1}^N A_{ij} P_j \Delta dj - E \sum_{j=1}^N A_{ij} \quad (1)$$

در این تابع ε ضریب تأثیر انتقال، N تعداد محصولات (ده محصول)، Δdj افزایش قیمت محصول J ام حاصل از آبیاری مکانیزه، P_j قیمت محصول J ام، E هزینه عملیات سالیانه انجام شده روی زمین توسط آبیاری ثقلی و A_i مساحت بهینه کاشت هر یک از محصولات است که مجهول است و باید محاسبه شود. برای یافتن مساحت بهینه هر محصول در پلتفرم متلب (آزمایشگاه ماتریکس) ^۱، ابتدا مساحت‌های هر محصول (A_i) به صورت یک کاراکتر تعریف شده‌اند تا در تابع هدف به صورت متغیر باقی بمانند. اگر این مساحت‌ها به این شکل تعریف نشوند، آن‌گاه این نرم‌افزار مقدار دقیق این مساحت‌ها را از کاربر درخواست خواهد کرد و تابع مورد نظر را ارائه نخواهد داد. از آنجا که این مساحت‌ها مجهول هستند و در ادامه بحث به محاسبه آن‌ها پرداخته می‌شود، در نتیجه باید ابتدا مساحت‌ها به کاراکتر تبدیل شوند. هدف از این تبدیل این است که نرم‌افزار این مساحت‌ها را به عنوان مجهول در نظر نگیرد تا بتواند تابع هدف را به کاربر ارائه دهد. تمامی مقادیر، ضرایب و اطلاعات لازم برای به دست آوردن تابع هدف در این کد لحاظ شده است. مزیت

با وارد کردن تابع هدف و قیود در متلب، مساحت بهینه محصولات به دست آمده است. جدول ۲، مساحت بهینه هر یک از محصولات را پس از محاسبه نشان می‌دهد. شیوه کاشت محصولات در منطقه به منظور جلوگیری از هدررفت آب توسط روش حل مسئله فروشنده دوره گرد پس از به دست آمدن مساحت بهینه کاشت هر محصول

1. MATLAB (Matrix Laboratory)

دیگری را نیز در نظر گرفت تا هدررفت آب هنگام انتقال در لوله‌ها و انشعاب‌ها کمینه شود. در این تحقیق به بررسی و اجرای این موارد پرداخته می‌شود. اولین موردی که می‌تواند باعث کاهش پرتی آب هنگام انتقال شود، این است که تمامی محصولاتی که بیشترین دوره آبیاری را دارند، در ابتدای کانال قرار گیرند. چنین اقدامی سبب می‌شود تا طول انتقال آب کاهش یابد و پرتی

آب کمتر شود. از آنجا که منطقه مورد مطالعه جزء مناطق پربران کشور است، بنابراین بخش عمده‌ای از آب مورد نیاز کشت محصولات توسط نزولات آسمانی و بخش دیگر توسط آب آبیاری تأمین می‌شود. جدول ۳ دوره‌های آبیاری محصولات انتخاب شده در این تحقیق را برای یک سال آبی نشان می‌دهد:

جدول ۳. تاریخ آبیاری محصولات کشاورزی در یک سال آبی در منطقه مورد تحقیق

شماره محصولات	تاریخ آبیاری محصولات در هر ماه							مجموع روزهای آبیاری در سال
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	
۱ گندم	-	۱۵ و ۳۰	۲۰	۲	-	-	۱ و ۲۰	۶
۲ جو	-	۲۲	۱۲	-	-	-	۱ و ۲۲	۴
۳ چغندر قند	-	۱	۱۲ و ۲۶	۱۶، ۳۰ و ۹	۶، ۱۳ و ۲۷	۱۰ و ۲۴	-	۱۱
۴ ذرت دانه‌ای	-	۱ و ۲۲	-	۲، ۹، ۲۳ و ۳۰	۱۳ و ۲۰	۳	-	۹
۵ یونجه	۱	۵ و ۲۶	۱۶ و ۳۰	۱۳ و ۲۷	۳، ۱۷ و ۳۱	۲۱	۱۱	۱۲
۶ حبوبات	-	۱	۵ و ۲۶	۱۶، ۳۰ و ۹	۶ و ۲۰	-	-	۸
۷ سبزیجات	-	۱ و ۲۹	۲۶	۹، ۱۶ و ۳۰	۶، ۲۰ و ۱۷	۱۰	-	۱۰
۸ سویا	-	۱ و ۲۹	-	۲، ۱۶ و ۲۳	۶، ۱۳ و ۲۷	۱۰	-	۹
۹ شبدر	-	۲۶	۹ و ۳۰	۶ و ۲۰	۳	۲۸	-	۷
۱۰ توتون بهاره	-	-	۱ و ۲۹	۱۲ و ۲۶	۲، ۱۶ و ۲۳	۶	-	۸

هر یک از محصولات، طی دوره رشد خود، مقدار مشخصی آب مصرف می‌کنند. به طور کلی، نیاز آبی یک محصول به شرایط محیطی، دما، مقدار تبخیر و تفرق، مقدار بارندگی سالیانه و وجود داشتن یا نداشتن سفره‌های زیرزمینی بستگی دارد. اما نیاز آبی محصولات، با وجود شرایط محیطی یکسان، با یکدیگر متفاوت است. برای مثال، نیاز آبی گندم حدود ۱۵۰۰ متر مکعب در هکتار برآورد شده است، در حالی که نیاز آبی مورد نیاز جو، ۴۲۵ متر مکعب در هکتار است. نیاز آبی محصولات بررسی شده

در این تحقیق توسط نرم‌افزار NETWAT استخراج شده است. این نرم‌افزار توسط سازمان هواشناسی و وزارت جهاد کشاورزی برای تعیین نیاز آبی محصولات قابل کشت در کشور تهیه شده است. بر این اساس، اولویت‌بندی محصولات بر حسب آب مورد نیازشان می‌تواند باعث شود تا هدررفت آب در خط لوله آب به مقدار قابل توجهی کاهش یابد. جدول ۴ آب ناخالص مورد نیاز محصولات زراعی مورد استفاده در این تحقیق را طی یک سال آبی نشان می‌دهد:

جدول ۴. آب ناخالص مورد نیاز محصولات در یک سال آبی (متر مکعب بر هکتار)

محصول	گندم	جو	چغندر قند	ذرت دانه‌ای	یونجه	حبوبات	سبزیجات	سویا	شبدر	توتون بهاره
نیاز آبی	۱۴۱۶	۴۲۱	۱۱۸۸	۷۸۰	۱۵۹۹	۵۳۳	۱۲۳۷	۹۰۸	۵۲۱	۴۷۲

برای کمینه کردن پرتی و هدررفت آب در خط لوله آب، باید محصولات با بیشترین تعداد دوره آبیاری و با بیشترین نیاز آبی در ابتدای کانال قرار گیرند. در مدیریت

و برنامه‌ریزی تحویل آب، نیاز آبی مهم‌ترین معیار تصمیم‌گیری است [۱۹]. به این منظور، باید برنامه‌ای نوشته شود تا نیاز آبی محصولات در مساحت کل و

$$(۲) \quad \tau_{ij} + \Delta\tau k = \text{تغییر مقدار فرامون}$$

که در این فرمول i, j مسیر حرکت مورچه از رأس i ام به رأس j ام، τ_{ij} مقدار فرامون روی مسیر i به j و $\Delta\tau k$ مقدار فرامونی که مورچه k ام هنگام عبور از مسیر i, j به مقدار قبلی می‌افزاید.

هنگامی که مورچه‌ها از مسیرهای پیش رو برای رسیدن به گره بعدی عبور می‌کنند، مسیرهایی که عبور از آنها کمتر شده و اهمیت خود را از دست داده‌اند، فرامون خود را به مرور زمان و به دلیل پدیده تبخیر فرامون از دست می‌دهند. در مسائل بهینه‌سازی نیز، راه‌حل‌های جدید و بهینه باید جایگزین راه‌حل‌های ضعیف‌تر شوند. به طور کلی، فرمول تبخیر فرامون برای عبور مورچه k ام به صورت رابطه ۳ نشان داده می‌شود:

$$(۳) \quad \tau_{i, j} = (1 - \rho) \tau_{i, j}$$

که در این فرمول ρ میزان کاهش فرامون یا درصد تبخیر است.

به طور کلی، فرایند فرامون‌ریزی باعث می‌شود تا در نهایت با حذف مسیرهای نامناسب، فرامون‌های آنها تبخیر شود و دیگر مورچه‌ای برای رسیدن به مقصد آن مسیرها را انتخاب نکند و همه جذب مسیرهای بهینه‌ای شوند که توسط مورچه‌های قبلی فرامون‌ریزی شده‌اند. چنین فرایندی در مسائل بهینه‌سازی واقعی کمک می‌کند تا جواب‌هایی که بهینه نیستند حذف شوند و در نهایت، بهترین گزینه برای حل مسئله به دست آید. پس در این مرحله، باید مقدار فرامون اولیه و یکسان در همه مسیرها را در متلب تعریف کرد که آن را بر اساس یک ماتریس مربعی $n \times n$ که همه المان‌های این ماتریس برابر مقدار فرامون اولیه تعریف شده است، می‌توان نوشت.

حال، نوبت آن فرا می‌رسد تا حلقه اصلی الگوریتم مورچه نیز وارد نرم‌افزار شود. ابتدا باید مورچه‌ها حرکت خود را از شهر مبدأ شروع کرده، سپس شهر انتخابی بعدی مشخص شود و مورچه‌ها از آن عبور کنند و فرامون خود را روی مسیر بریزند. سپس، شهر انتخاب شده حذف شود و شهرهای انتخاب نشده انتخاب شوند تا در نهایت، همه مورچه‌ها از همه مسیرها عبور کنند. همچنین، مورچه‌ها باید در مسیرهای بهتر (کوتاه‌تر) فرامون بریزند و مسیرهای

همچنین، تعداد دوره آبیاری طی سال را از کاربر دریافت کند و اولویت قرارگیری این محصولات را به کاربر ارائه دهد. در این تحقیق، برای اولویت‌بندی صحیح محصولات از پلتفرم محاسباتی متلب، الگوریتم کلونی مورچه و مسئله فروشنده دوره‌گرد استفاده شده است.

حل مسئله فروشنده دوره‌گرد توسط الگوریتم کلونی مورچه کمک می‌کند تا اولویت‌بندی محصولات در اراضی پایین‌دست کانال انتقال آب به دست آید. در مسئله فروشنده دوره‌گرد، تعدادی شهر، مسافت و راه‌های ارتباطی میان آنها مشخص است. هدف، تعیین کوتاه‌ترین مسافت برای فروشنده‌ای است که قصد دارد از همه شهرها عبور کند، به شرطی که در نهایت بتواند از همه شهرها بگذرد و به شهری که سفرش را آغاز کرده است، بازگردد. از چنین مفهومی می‌توان برای اولویت‌بندی صحیح محصولات کشاورزی در این پژوهش استفاده کرد.

به این منظور، باید حجم آب مورد نیاز برای کاشت هر محصول در مساحت بهینه محاسبه شده از قسمت قبلی پژوهش، محاسبه شود؛ سپس حجم‌های به دست آمده و تعداد روزهای آبیاری محصولات را به عنوان مختصات یک نمودار در نظر گرفت تا نموداری رسم شود. اکنون با استفاده از کانسپت مسئله TSP می‌توان هر محصول روی نمودار را به صورت شهری در نظر گرفت که فروشنده از آنها قصد عبور دارد. در چنین حالتی، می‌توان کوتاه‌ترین مسیر برای عبور از همه شهرها را با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه به دست آورد. چنین مسیری، که کوتاه‌ترین مسیر برای عبور از همه شهرهاست، می‌تواند اولویت‌بندی محصولات را به صورتی نشان دهد تا آنهایی که تعداد روزهای آبیاری زیادی دارند و حجم آب مصرفی آنها نسبت به سایر محصولات بیشتر است، در ابتدای زمین زراعی قرار گیرند.

مسئله فروشنده دوره‌گرد در این تحقیق توسط الگوریتم کلونی مورچه حل شده است. مورچه‌ها برای عبور از هر مسیر، مقداری فرامون روی آن یال (مسیر) به جا می‌گذارند. به مرور زمان و بر اساس انتخاب مسیر بهینه توسط مورچه‌ها، مقدار فرامون در مسیرهای بهینه افزایش می‌یابد و مسیرهای غیر منتخب نیز فرامون خود را بر اساس پدیده تبخیر از دست می‌دهند. به طور کلی، فرمول اصلی تغییر (افزایش) فرامون هنگام عبور مورچه k ام از یک مسیر به صورت رابطه ۲ است:

برای نشان دادن نتایج و امکان تجزیه و تحلیل آن‌ها باید داده‌های مورد نظر نظیر اطلاعات جغرافیایی زمین، مساحت‌های بهینه محصولات و همچنین، شیوه کاشت محصولات که در این تحقیق مشخص شدند، وارد GIS شوند تا نقشه مورد نظر به دست آید. شکل ۳ شیوه کاشت محصولات مورد نظر را با مساحت بهینه نشان می‌دهد.

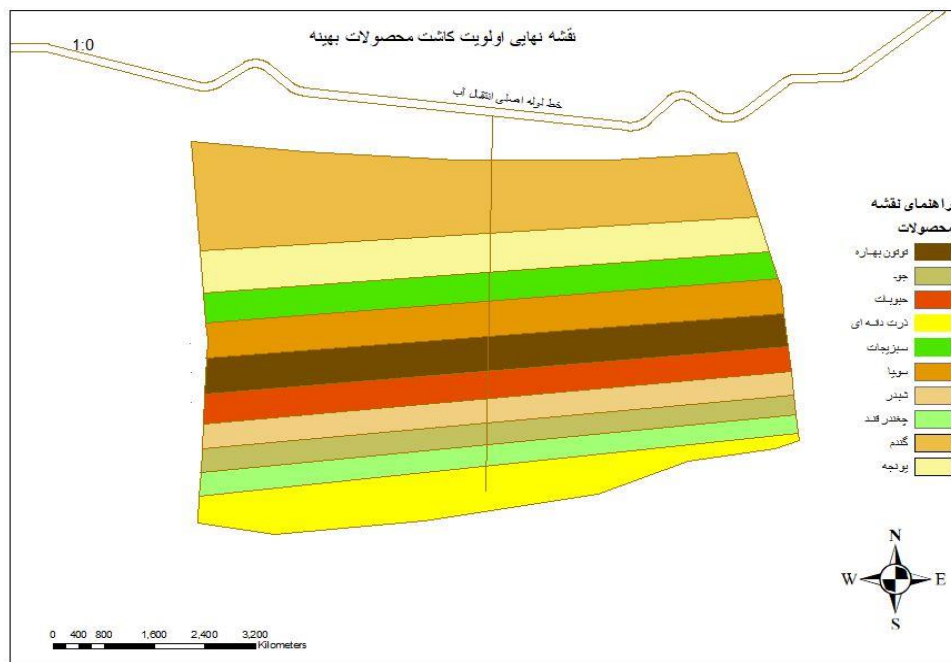
شکل یادشده نتیجه اجرای تمامی مراحل انجام شده در مقاله را نشان می‌دهد. بر اساس این نقشه، محصولات مساحت بهینه کاشت آنها در این تحقیق محاسبه شد، برای کاهش هدررفت آب به هنگام انتقال در خط لوله، به این شکل اولویت بندی شدند. برای مثال، سبزیجات که با رنگ سبز پررنگ نشان داده شده است، در اولویت سوم کاشت قرار دارد؛ و جو در اولویت هشتم کاشت قرار دارد. به این معنا که محصول سبزیجات با در نظر گرفتن مساحت بهینه کاشت آن - که در تحقیق محاسبه شد - و با در نظر گرفتن نیاز آبی و تعداد دفعات آبیاری آن در سال، باید در این قسمت از زمین کاشته شود تا به خط لوله انتقال آب اصلی نزدیک‌تر باشد تا این گونه به جلوگیری از هدررفت ناشی از نشست آب، کمک شود. اجرای این پژوهش باعث می‌شود تا علاوه بر بیشینه کردن سود حاصل از کاشت محصولات، به جلوگیری از هدررفت آب در شبکه انتقال نیز کمک شود.

با محاسبه سود سالانه حاصل از کاشت محصولات مورد نظر با مساحت‌های بهینه محاسبه شده در این تحقیق و با ثابت در نظر گرفتن قیمت همه محصولات در قبل و بعد از کاشت، افزایش ۱۰ درصدی سود در شبکه محاسبه شده است. به این معنا که با محاسبه مساحت‌های بهینه کاشت محصولات، علاوه بر دستیابی به بیشینه سود، می‌توان مدیریت صحیح اراضی کشاورزی را انتظار داشت. برای مثال، گندم که با مساحت ۱۸ هکتار کشت می‌شده است، با اعمال محاسبات یادشده به ۲۴ هکتار افزایش یافته است. همچنین، اولویت بندی صحیح کاشت محصولات در زمین، می‌تواند به جلوگیری از هدررفت آب در خطوط لوله انتقال آب نیز کمک بسزایی کند.

نامناسب به دلیل فرایند تبخیر فرامون، ارزش خود را از دست دهند تا در تکرارهای بعدی آن مسیرها حذف شوند و فقط مسیرهای مناسب باقی بمانند. علاوه بر ارتقای فرامون که توسط مورچه‌ها روی مسیرهای مناسب ریخته می‌شود، تبخیر فرامون در مسیرها نیز باید لحاظ شود. در این تحقیق، برای انتخاب تصادفی همسایگی‌ها (شهرهای بعدی) از روش انتخاب چرخ رولت^۱ استفاده شده است. هنگامی که یک مورچه در شهر اول قرار دارد، برای آنکه به شهر بعدی سفر کند، مسیرهای متعددی پیش روی دارد که باید به طور کاملاً تصادفی انتخاب شود.

تا این مرحله، شهر مبدأ انتخاب شده است و پس از اعمال احتمالات برای انتخاب شهر بعدی، شهر جدید انتخاب می‌شود، شهر جدید به لیست اولویت بندی شهرها (Tour) اضافه می‌شود. سپس، این چرخه ادامه می‌یابد تا همه شهرها انتخاب شوند و مسیر توسط مورچه تکمیل شود. پس از تکمیل مسیرها توسط مورچه‌ها، باید بهترین مسیر نیز انتخاب شود. انتخاب بهترین مسیر همان اولویت بندی محصولات کشاورزی زمین مورد نظر است که هدف اصلی پژوهش نیز است.

اکنون با کامل شدن کد مربوط به حل مسئله فروشنده دوره گرد با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه در متلب می‌توان مسیر بهینه (Best Tour) را مشاهده کرد. این مسیر در حقیقت اولویت عبور از شهرها را نشان می‌دهد که توسط مورچه‌ها انتخاب شده است. از آنجا که هر شهر، محصولات کشاورزی انتخاب شده برای این پژوهش است و مختصات هر شهر نیز بیانگر تعداد روزهای آبیاری و حجم آب مورد نیاز است، بنابراین بهترین مسیر انتخاب شده توسط مورچه‌ها، در حقیقت اولویت بندی محصولات بر اساس بیشترین دوره آبیاری و بیشترین حجم آب مورد نیاز را نشان می‌دهد. بهترین مسیری که توسط مورچه‌ها برای شهرهای مورد نظر انتخاب شده است، عبارت است از: گندم < یونجه < سبزیجات < سویا < توتون بهاره < حبوبات < شبدر < جو < چغندر قند < ذرت دانهای در این مسیر، گندم در ابتدای زمین و خط لوله انتقال آب کاشته می‌شود و ذرت دانهای در آخرین اولویت کاشت قرار می‌گیرد.



شکل ۳. اولویت‌بندی کاشت محصولات با مساحت بهینه به منظور مدیریت توزیع آب

الگوریتم کلونی مورچگان، روش حل مسئله فروشنده دوره‌گرد و سیستم اطلاعات مکانی می‌تواند روش مناسبی برای مدیریت توزیع آب محسوب شود؛ به گونه‌ای که با در دست داشتن فاکتورهای مورد نیاز مانند نیاز آبی محصولات، تعداد دفعات آبیاری طی دوره کشت و مساحت بهینه کاشت هر محصول، اولویت‌بندی کاشت محصولات در زمین مشخص شده و براین اساس می‌توان به مدیریت توزیع آب کمک کرد.

با توجه به گسترده بودن حوزه بررسی شده در این مقاله، همچنان بسیاری از بررسی‌ها و مسائل برای بهبود موضوع اصلی تحقیق باقی مانده‌اند که پرداختن به آنها کمک زیادی در حل مشکلات آبی می‌کند. در ادامه، برخی از این مسائل به صورت پیشنهاد مطرح شده‌اند:

- علاوه بر قیمت محصولات، هزینه عملیات سالیانه انجام‌شده روی زمین و تعداد محصولات که به عنوان فاکتورهای اصلی تابع هدف در این مقاله مد نظر قرار گرفتند، پیشنهاد می‌شود تا سایر محققان و علاقه‌مندان به موضوع، سایر فاکتورها و قیودی که در به دست آوردن مساحت بهینه کاشت محصولات و حداکثر کردن سود در شبکه می‌توانند مؤثر باشند را مورد بررسی قرار دهند و مدل حاضر را با فاکتورهای بیشتر و کامل‌تری اجرا کنند.

بحث و نتیجه‌گیری

کمبود آب در سراسر جهان به‌ویژه در کشورهایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند، به مرحله بحرانی رسیده است. از این‌رو، هر اقدامی که منجر به استفاده صحیح و منطقی از منابع آبی شود، اهمیت دارد. بنابراین، در این مقاله روشی ارائه شد تا علاوه بر حداکثرسازی سود در شبکه، به جلوگیری از هدررفت آب کمک شود. این روش بر اساس حجم آب مورد نیاز محصولات در دوره کاشت و همچنین، تعداد روز آبیاری محصولات به شیوه‌ای ارائه شد تا محصولات با نیاز آبی و دوره آبیاری بیشتر در ابتدای زمین کشت شوند تا هدررفت آب کاهش یابد. همچنین، مشخص شد که مساحت کشت هر محصول چقدر باشد تا سود حاصل در شبکه حداکثر شود.

در پژوهش حاضر، برای اولویت‌بندی محصولات در زمین از رویکردی ترکیبی به روش حل مسئله فروشنده دوره‌گرد و الگوریتم کلونی مورچه استفاده شد. همچنین، نظر به توانمندی‌های سامانه‌های اطلاعات مکانی در نمایش و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی و توصیفی، از آن به عنوان ابزاری برای نمایش و گزارش‌گیری از اطلاعات و همچنین، به منظور تجزیه و تحلیل نتایج در مبحث مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری به کاربان کمک گرفته شد. طبق این پژوهش، مشخص شد که رویکرد ترکیبی سه‌گانه به

- Operation of Surface Water Reservoirs with Reliability Constraints. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 2020; 14(2): 579 - 592. [Persian].
- [11]. Kord M, Asghari A, Nakhaei M. Numerical Modeling of the Ardabil Plain Aquifer and its Management Using Optimization of Groundwater Extraction. 2019; 4(1): 153-167. [Persian]
- [12]. Javan Salehi M, Zarghami M, Keighobadi J. Utilization of Model Predictive Control to Improve Optimization – Simulation Models for Managing Water Transfer Systems: Case Study of Zarinehrood Water Transfer Line to Tabriz. Water Resources Research. 2019; 15(4):18-34. [Persian]
- [13]. Naghdi S, Haddad O, Khorsandi M , Chu X. Multi-objective optimization for allocation of surface water and ground water resources. Science of the Total Environment. 2021; 776(1): 1-12.
- [14]. Cong D, Ascough J, Mayer H, Dandy, G, Andales A. Optimization of irrigation scheduling using ant colony algorithms and an advanced cropping system model. Environmental modeling & system. 2017; 97(3): 32-45.
- [15]. Dehghanipour A , Schoups G, Zahabiyou B, Babazadeh H. Meeting Agricultural and Environmental Water Demand in Endorheic Irrigated River Basins: A Simulation-Optimization Approach Applied to the Urmia Lake Basin in Iran. Agricultural Water Management. 2020; 241(1): 1-15.
- [16]. Jiang Y, Xiong L, Yao F, Xu Z. Optimizing regional irrigation water allocation for multi-stage pumping-water irrigation system based on multi-level optimization-coordination model. Journal of Hydrology. 2019; 4(1): 1-66.
- [17]. Vafaeinejad A. Cropping Pattern Optimization by Using of TOPSIS and Genetic Algorithm Based on the Capabilities of GIS. Eco Hydrology. 2016; 3(1): 69-82. [Persian].
- [18]. Yousefzadeh J, Yousofi H, Mohammadi Varzaneh N, Vafaeinejad A. Using GIS and Linear Programming to Manage Water Distribution in Irrigation Networks and Cropping Pattern Allocation. Eco Hydrology. 2014; 1 (2): 123-132. [Persian].
- [19]. Mohamadi Varzaneh N, Vafaeinejad A. Water Allocation in Irrigation Networks by using of Decision Support System Based on the Geospatial Information System (GIS) and Particle Swarm Optimization (PSO). Eco Hydrology. 2015; 2(1): 39-49. [Persian].
- از آنجا که در تحقیق حاضر، مقدار کلی هدررفت آب در لوله‌های انتقال آب در شبکه آبیاری، محاسبه نشده است، پیشنهاد می‌شود تا سایر محققان به این مهم توجه کرده و با این کار بررسی کنند که با استفاده از روش مطرح‌شده در این تحقیق، چه مقدار می‌توان از اتلاف آب جلوگیری کرد.
- ### منابع
- [1]. Abbasi, F, Sohrab F. Evaluation of Irrigation Efficiencies in Iran. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research. 2017;17 (67):113 - 128. [Persian].
- [2]. Davari K, Salarian M. Basics of Irrigation and Drainage Management. 1st ed, Mashhad University: Publication of University Jihad; 2014 [Persian].
- [3]. Biniiaz A, Ahmadpour Borazjani M, Ziaei S, Mohammadi H. The Impact of Agricultural Water Pricing on Sustainability of Its Resources. Eco Hydrology. 2020; 7(1): 195- 207 [Persian].
- [4]. Mostofi N, Saberian J. Using GIS for Optimization the Irrigation Program from Repository Dams. Geospatial Engineering Journal. 2016; 7 (3): 117-125 [Persian].
- [5]. Mahmoudi Jam S, Ghoreyshi Najaf Abadi H, Vafaeinejad A, Moridi A, Khazae S. Potential Evaluation of Underground Water Resource with the Hybrid Approach to Particle Swarm Optimization Algorithm and Geospatial Information Systems. 2017; 4(4): 1199-1213. [Persian].
- [6]. Goodarzi Z, Vafaeinejad A. Using Shuffled Frog-Leaping Algorithm (SFLA) And Geospatial Information System (GIS) To Help Optimally Operation of The Dam Reservoir. Eco Hydrology. 2019; 6(4): 983-991. [Persian].
- [7]. Karamouz M, Krachian R. Planning and Management of Water Resources Systems. 7th ed. Tehran: Publication of Amirkabir University. 2018. [Persian].
- [8]. Rajabi M, Mansourian A, Talei M, Alimohammadi A. A New Innovative Method for Solving Traveling Salesman Problem. Remote Sensing and GIS. 2013; 4(4): 1-20. [Persian].
- [9]. Kosari M, Ekhtesasi M, Malekinejad H. Investigation of Long Term Drought Trend in Semi-arid, Arid and Hyper-arid regions of the World. Desert Management. 2017; 4 (8): 36 - 53. [Persian].
- [10]. Masoumi F, Salimi N, Zafari N. Evaluation of Grasshopper Optimization Algorithm for Optimal