

بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از روش TOPSIS و الگوریتم ژنتیک بر مبنای قابلیت‌های GIS (مطالعه موردی: اراضی بخش جلگه، استان اصفهان)

علیرضا وفائی نژاد*

استادیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

(تاریخ دریافت ۱۳۹۴/۱۰/۲۶؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۴/۱۲/۲۷)

چکیده

یکی از ارکان اساسی مدیریت آب و افزایش بهره‌وری کشاورزی، استفاده بهینه از منابع موجود است. با توجه به تقاضای در حال افزایش محصولات کشاورزی، افزایش بهره‌وری از منابع کمیاب، ضرورتی انکارناپذیر است. بهره‌برداری مطلوب از این منابع، افزون بر تأمین تقاضای جامعه به‌عنوان یک هدف کلان، می‌تواند افزایش درآمد بهره‌برداران را نیز به دنبال داشته باشد. یکی از راهکارهای مناسب برای افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی، اصلاح الگوی کشت محصولات با توجه به پارامترهای مختلف است. در این تحقیق ابتدا با استفاده از معیارهای اقتصادی، نیاز آبی و دوره رشد محصولات، در مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS، محصولات بهینه انتخاب شده‌اند. همچنین با ترکیب این نتایج با پارامترهای میزان آب موجود و زمان مشترک دوره رشد محصولات، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مساحت بهینه کشت تخصیص داده شده به هر محصول مشخص شده است. در ادامه با استفاده از قابلیت‌های مکانی GIS و پارامترهای مکانی مختلف و ترکیب با اطلاعات بهینه‌شده، نقشه الگوی بهینه کشت محصولات تهیه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با استفاده از مدل‌های استفاده شده و قابلیت‌های GIS، می‌توان به الگوی کشت مناسب دست یافت و به‌طور متوسط حدود ۲۵ درصد افزایش بهره‌وری و استفاده از منابع موجود داشت.

کلیدواژه‌گان: افزایش بهره‌وری، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی الگوی کشت، GIS، TOPSIS.

مقدمه

با توجه به تقاضای در حال افزایش محصولات کشاورزی، افزایش بهره‌وری استفاده از منابع کمیاب، ضرورتی انکارناپذیر است. بهره‌برداری مطلوب از این منابع، افزون بر تأمین تقاضای جامعه به‌عنوان یک هدف کلان، می‌تواند افزایش درآمد بهره‌برداران را که برای آنها فعالیت کشاورزی علاوه بر یک فعالیت اقتصادی به‌عنوان شیوه زندگی نیز محسوب می‌شود، به دنبال داشته باشد [۱]. یکی از راهکارهای مناسب برای افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی، اصلاح الگوی کشت محصولات با توجه به معیارهایی همچون اقتصادی، دوره رشد و نیاز آبی محصولات در مناطق مختلف و محدودیت‌هایی مانند کمبود آب است.

یکی از ارکان اساسی مدیریت آب و افزایش بهره‌وری کشاورزی، استفاده بهینه از منابع موجود است. بهره‌برداری نکردن بهینه از منابع، از موضوعات مهمی است که امروزه مسئولان با آن مواجه‌اند. راهکارهای مختلفی برای حداکثر کردن سود محصولات کشاورزی وجود دارد، که ضمن حفظ منابع به‌صورت پایدار، امکان کسب درآمد بیشتر برای کشاورز را نیز فراهم کند. کشاورزان در طول یک سال زراعی، محصولات مختلفی را کشت می‌کنند، ولی قطعیتی وجود ندارد که این الگوی کشت بیشترین سودآوری را داشته باشد [۲]. توسعه علم و دانش در دنیای امروز، به بشر توانایی داده است تا از این راهکارها به‌گونه مطلوب‌تری استفاده کند. مزیت روش‌های نوین به روش‌های سنتی، اختصاص بهینه عوامل تولید برای به‌دست آوردن بیشترین بهره‌وری استفاده از آنهاست [۱]. با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری و مدیریت مزرعه با توجه به معیارها و محدودیت‌های مختلف موجود مانند مقدار زمین، مقدار آب، هزینه و... می‌توان به هر کشاورز، الگوی کشت بهینه پیشنهادی برای بیشتر کردن سود ارائه کرد.

بر این اساس و با توجه به معیارها و پارامترهای مختلف، تحقیق حاضر اصلاح الگوی کشت محصولات در قسمتی از اراضی بخش جلگه اصفهان را مد نظر قرار داده است. در واقع، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، نسبت به انتخاب محصولات مناسب برای کشت و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک و قابلیت‌های GIS، نسبت به بهینه‌سازی سطح زیر کشت و در نهایت تهیه نقشه الگوی کشت اقدام شده است.

بیشینه تحقیق

در زمینه تعیین الگوی کشت تحقیقات مختلفی انجام شده است. برای نمونه، میرزایی و همکارانش (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان «تعیین الگوی کشت بهینه با روش بیشینه - کمینه (MMAS) سیستم مورچگان» به این نتیجه رسیده‌اند که الگوی فعلی آبیاری در گلستان، بهینه نبوده است و می‌توان با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی و پیاده‌سازی آنها و با اجرای الگوی پیشنهادی، سود به‌دست آمده را به‌زای هر هکتار زمین افزایش داد [۲]. در تحقیقی دیگر، امینی فسخودی و نوری در مقاله‌ای به ارزیابی سیستمی پایداری در سیستم زراعی و تعیین مناسب‌ترین الگوی کشت متناسب با آن پرداختند. در این تحقیق، نویسندگان با محاسبه و مقایسه کارایی اقتصادی و اجتماعی هر واحد مصرف آب کشاورزی، مناسب‌ترین الگوهای کشت منطقه با توجه به منابع موجود آب و خاک و نیروی انسانی تعیین و معرفی کرده‌اند [۳].

شعبانی و هنر (۱۳۸۷) در تحقیقی برای به بیشترین حد رساندن سود، به تخمین آب مورد نیاز گیاه در دوره‌های زمانی مختلف، بهینه‌کردن الگوی کشت و مدیریت آبیاری در کانال در سطح زیر کشت سد درودزن (استان فارس) اقدام کردند. در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک برای دستیابی به اهداف استفاده شده است. نتایج نشان داده است که می‌توان با استفاده از بهینه‌سازی به بیشترین سود دست یافت [۴]. همچنین قاسمی و همکارانش با هدف تعیین الگوی بهینه کشت محصولات کشاورزی با رویکرد محیط زیستی (استفاده حداقل از سموم و کودهای شیمیایی)، در دشت ورامین به بهینه‌سازی اقدام کردند. در این تحقیق مشخص شده است که برای دستیابی به الگوی کشت مناسب، ابتدا محصولات جالیزی کاهش و در مرحله دوم باید سطح زیر کشت غلات کاهش یابد [۵].

در تحقیقی، وفایی‌نژاد و همکارانش (۱۳۹۳) با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و GIS، نسبت به بهینه‌سازی الگوی کشت اراضی سد آغ‌چای اقدام کردند. نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، افزایش ۳۰ درصدی بهره‌وری را در صورت استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در تعیین الگوی کشت نشان می‌دهد [۶]. همچنین رستگاری‌پور و صبوحی با استفاده از برنامه‌ریزی فازی خاکستری برای تعیین الگوی کشت در بخش مرکزی شهرستان قوچان استفاده کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داده است که بعضی از محصولات کشت‌شده

روش‌های بهینه‌سازی، الگوریتم لونبرگ-مارکارد به ترتیب ۲۰، ۲۷، ۳۴، ۳۸ و ۴۹ درصد به بهینه‌سازی الگوی کشت کمک کرده است [۲۲].

همچنین، داری و همکارانش (۲۰۱۳) در مقاله‌ای به تحلیل زمانی و فضایی الگوهای کشت در مزارع دارای محصولات چندگانه پرداخته و کوشیده‌اند با ترکیب الگوهای بهینه‌سازی و قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به ارائه یک طرح ده‌ساله بهینه برای آبیاری مزارع دارای محصولات چندگانه در شمال فرانسه بپردازند. براساس نتایج این تحقیق، الگوریتم شاخه و حد برای زمین‌هایی که با تقسیم آب زیاد مواجه هستند و ترکیب محصولات آن، ذرت، گندم، پنبه و انگور است، بهترین الگوی کشت را ارائه می‌دهد. همچنین الگوی بهینه‌سازی ضرب زنجیره‌ای ماتریس، برای زمین‌های دارای منبع آب زیرزمینی و محصولات باغی مناسب‌ترین است [۲۱].

تحقیقات یادشده نشان می‌دهد که مسئله الگوی کشت و انتخاب محصولی مناسب که علاوه بر همخوانی با شرایط منطقه بیشترین بازدهی و سودآوری اقتصادی را نیز داشته باشد در بیشتر تحقیقات صرفاً با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی صورت گرفته است و کمتر به قابلیت‌ها و ویژگی‌های مکانی قطعات کشاورزی و همچنین ترکیب الگوریتم‌های بهینه‌سازی با مدل‌های تصمیم‌گیری توجه شده است. در واقع، ترکیب این سه مدل با یکدیگر به نوعی، نوآوری این تحقیق به حساب خواهد آمد.

مواد و روش‌ها

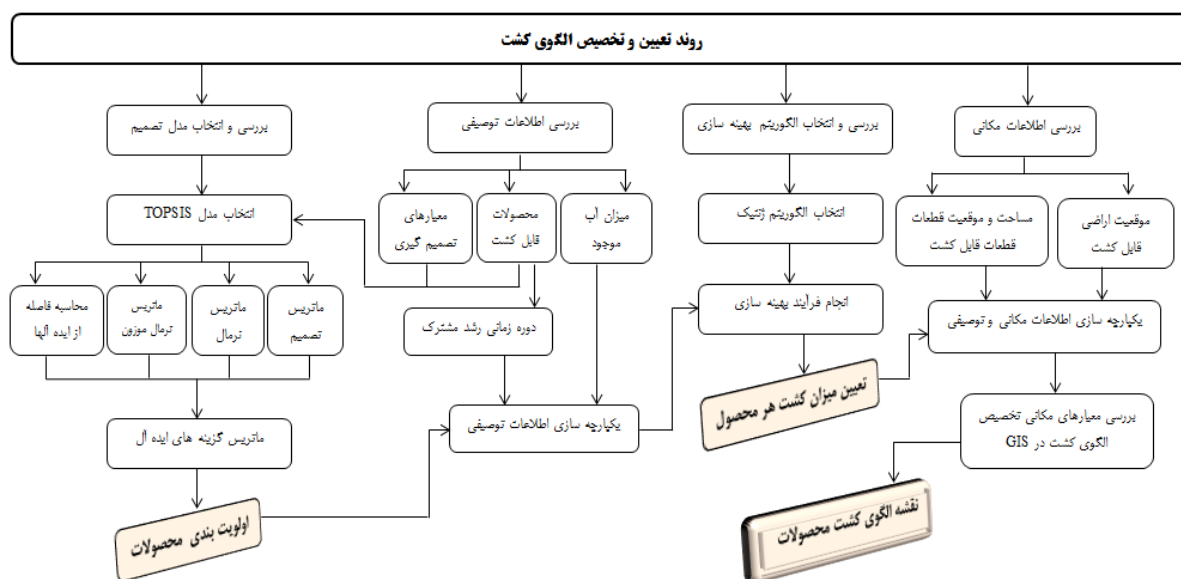
در این تحقیق با استفاده از بررسی میدانی و کتابخانه‌ای، ابتدا ۸ محصول (۸ گزینه)، که قابلیت کشت در منطقه را داشتند (گندم، جو، پنبه، یونجه، پیاز، چغندر قند، ارزن، شبدر) بررسی شده و سپس با استفاده از مدل TOPSIS و تهیه ماتریس‌های مختلف تصمیم‌گیری، اقدام به انتخاب محصولات بهینه بر مبنای معیارهای مختلف شده است. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر مبنای نوع محصول انتخاب‌شده و میزان آب موجود، پس از بهینه‌سازی اطلاعات، میزان کشت محصولات تعیین شده است. سپس با تهیه بانک اطلاعات توصیفی بهینه و با استفاده از GIS و قابلیت‌های مکانی آن، بر مبنای موقعیت قطعات کشاورزی و فاصله از منابع آبی، نقشه الگوی کشت تهیه شده است. موارد اجرایی تحقیق به صورت کامل در شکل ۱ ارائه شده است.

باید دیگر کشت نشوند و بعضی محصولات دیگر جایگزین شوند [۷]. در تحقیق دیگری، ذاکری‌نیا و همکارانش از ابزارهای مدیریتی ArcET در محیط GIS برای برآورد تبخیر و تعرق گیاهان و به تبع آن نیاز آبی آنها استفاده کرده‌اند. پس از تعیین نیاز آبی، به تعیین الگوی کشت در شبکه آبیاری درودزن فارس اقدام کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داده است که با استفاده از الگوی حاضر می‌توان به بیشترین بازدهی دست یافت [۸].

در تحقیقی خاشعی سیوکی و همکارانش با استفاده از الگوریتم PSO، به تعیین الگوی کشت در اراضی دشت نیشابور پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در اراضی دشت نیشابور، برای دست‌یابی به بهینه‌ترین الگوی کشت، باید بیشتر محصولات زیر کشت تغییر یابند [۹]. همچنین در تحقیقی، حسین‌زاده و همکارانش سعی کرده‌اند الگوی بهینه کشت محصولات زراعی با تأکید بر برخی اهداف مهم کشاورزی پایدار (براساس داده‌های مقطعی سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۹۰) در این منطقه تعیین کنند. در این تحقیق از الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داده است که براساس الگوی یادشده مصرف آب به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که عمدتاً در ماه‌های مختلف کمبودی از لحاظ آب در منطقه وجود نداشته باشد [۱۰].

ویوکاندان و همکارانش (۲۰۱۵) در مقاله‌ای با عنوان «بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی هدف‌دار (GP)»^۱ به بررسی الگوی آبیاری هدفمند و محاسباتی در اراضی کشاورزی روسیه پرداخته‌اند. در این روش، شاخص‌های میزان بازگشت خالص^۲ (MNT)، قابلیت استفاده از آب سطحی و زیرزمینی، به کار گرفته شده است. در این تحقیق سه سناریوی محتمل برای آبیاری آزموده شده است. براساس نتایج این تحقیق، از میان سناریوهای ممکن، نوع کشت و آبیاری که میزان برگشت خالص در آن زیاد باشد و میزان مواد آلی موجود در خاک (از جمله پروتئین و کالری) در آن کم باشد، بهترین الگوی کشت به‌شمار می‌رود [۲۳]. چارنز و کوپر (۲۰۱۴) در مقاله‌ای به بررسی الگوهای بهینه آبیاری در مزارع جنوب شرق ایرلند پرداخته‌اند. در این تحقیق، بازه زمانی ۵ ساله برای بررسی و آزمون الگوهای بهینه‌سازی در این مزارع به کار رفته است. از مجموع،

1. Optimization of cropping pattern using goal programming approach
2. Amount of Net Return



شکل ۱. مراحل روند تعیین و تخصیص الگوی کشت محصولات

تصمیم‌گیری چندشاخصه

تصمیم‌گیری فرایندی است که طی آن شیوه عمل خاصی برای حل مسئله یا مشکل ویژه‌ای برگزیده می‌شود [۱۴]. تصمیم‌گیری چندشاخصه یا چندمعیاره به فرایندی گفته می‌شود که در آن ارزیابی یا تصمیم‌گیری براساس شاخص‌های متعدد و گاه ناهمسو صورت می‌پذیرد [۱۵]. این روش‌ها یکی از شیوه‌های تصمیم‌گیری پرکاربرد در امور علمی، تجاری، مهندسی و مدیریتی به‌شمار می‌رود. روش تصمیم‌گیری چندشاخصه از طریق شفاف، منطقی و کارا کردن فرایند تصمیم‌گیری، کیفیت تصمیم‌ها و ارزیابی‌ها را بهبود می‌بخشد [۱۶]. فرایند ارزیابی چندشاخصه، عموماً شامل تعدادی گزینه است که این گزینه‌ها باید براساس چند شاخص، ارزیابی و رتبه‌بندی شوند. معمولاً، گزینه‌ها و شاخص‌ها به‌عنوان ورودی‌های ماتریس تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شوند. برنامه‌ریزان، سیاست‌گذاران و سازمان‌های مختلف تا کنون روش‌های مختلف و متعددی را برای ارزیابی گزینه‌ها به کار برده‌اند که هر یک از روش‌ها اصول پایه، مبانی، هدف، مزایا و معایب خاص خود را دارند [۱۷]. اگر چه نوع روش MCDM عامل مهمی برای ارزیابی و تصمیم‌گیری به‌شمار می‌رود، بسیار مشکل است که بتوان یک روش خاص را به‌طور مطمئن و برای همیشه کارا و دقیق پنداشت. با این حال، روش انتخابی باید تا حدودی ساده و درخور فهم باشد و از نظر علمی نتایج درخور اتکالی را فراهم کند [۱۸].

از میان روش‌های شناخته‌شده در تصمیم‌گیری چندشاخصه، در این پژوهش روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS) با ضریب آنتروپی شانون استفاده شده است.

روش شباهت به گزینه ایده‌آل

روش تاپسیس یا شباهت به گزینه ایده‌آل به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصه، روشی ساده ولی کارآمد در اولویت‌بندی محسوب می‌شود. این روش را در سال ۱۹۹۲ چن و هوانگ با ارجاع به کتاب هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ مطرح کرده‌اند [۱۹]. مفهوم این مدل، انتخاب کوتاه‌ترین فاصله از راه حل ایده‌آل مثبت (PIS) و دورترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی (NIS)، به‌منظور حل مسائلی است که با ضوابط تصمیم‌گیری متعدد روبه‌روست [۲۰]. از امتیازهای مهم تکنیک تاپسیس آن است که به‌صورت هم‌زمان از شاخص‌ها و معیارهای عینی و ذهنی می‌توان استفاده کرد. این روش به نوع تکنیک وزن‌دهی، حساسیت بسیار کمی دارد و پاسخ‌های به‌دست‌آمده از آن تغییر عمیقی نمی‌کند. تاپسیس به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصه، روشی ساده ولی کارآمد در اولویت‌بندی محسوب می‌شود و برای مسائل اولویت‌بندی مناسب است. از امتیازهای مهم تکنیک تاپسیس آن است که به‌صورت هم‌زمان از شاخص‌ها و معیارهای عینی و ذهنی می‌توان استفاده کرد [۱۱].

مدل الگوریتم ژنتیک^۱

الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های جدید بهینه‌سازی است که بیشتر برای بهینه‌سازی مسائل بسیار پیچیده و غیرخطی به کار می‌رود. اساس این روش بر مبنای فرایند تکامل است. مشابه سیر تکامل بیولوژیکی، الگوریتم ژنتیک نیز یک سیر تکاملی دارد. به بیان ساده‌تر این روش با تولید نسل‌های (مجموعه جواب‌های) متعدد از جواب‌های امکان‌پذیر، سعی می‌کند به سوی جواب بهینه عمومی حرکت کند. با این روش در نسل‌ها به جواب‌های مناسب‌تر و بهتر، امکان بقا و مشارکت در تولید جواب‌ها و نسل‌های جدید داده می‌شود [۱۲]. در فرایند بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای نسل‌های بعدی، از عملگرهای مختلفی استفاده می‌شود که شامل عملگرهای انتخاب، ترویج و جهش هستند. انتخاب کروموزوم‌های والد به وسیله عملگر انتخاب، به چندین روش از جمله روش چرخ گردان و مسابقه و یکنواخت احتمالی انجام می‌شود. در فرایند تولیدمثل، بخش‌هایی از اطلاعات ژنتیکی دو کروموزوم با هم معاوضه می‌شوند. این عملیات از طریق عملگر ریاضی تزویج انجام می‌شود. این عملگر عموماً بخش‌هایی از کروموزوم‌های والد را به صورت تصادفی انتخاب و با هم جابه‌جا می‌کند. برای جلوگیری از همگرایی جواب‌های مدل بهینه‌سازی به نقاط بهینه موضعی، به وسیله عملگر جهش مقادیر برخی از ژن‌های کروموزوم‌های به دست آمده از فرایند تزویج به صورت تصادفی تخمین زده می‌شود که این کار با عملگر جهش صورت می‌گیرد [۱۲].

شاخص‌های پژوهش

برای انتخاب گزینه‌های مناسب در بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، نیاز به شاخص‌های مختلفی است. در این تحقیق از ۵ شاخص در مدل TOPSIS و محاسبات الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که جزئیات این شاخص‌ها به شرح زیر است.

– شاخص دوره رشد

این شاخص در واقع بیانگر طول دوره رشد محصول است و در تصمیم‌گیری، هر چه این دوره کوتاه‌تر باشد، مناسب‌تر است. بنابراین، با توجه به اینکه هر چه بلندتر باشد، نامناسب است بر مبنای جدول ۱ به عنوان شاخصی با تأثیری منفی در تصمیم‌گیری لحاظ می‌شود.

– شاخص نیاز آبی

در مدیریت و برنامه‌ریزی تحویل آب، نیاز آبی، از مهم‌ترین شاخص‌ها در تصمیم‌گیری است. نیاز آبی هر محصول مقدار آب مورد نیاز برای تبخیر و تعرق گیاه برای جلوگیری از بروز تنش نامطلوب در فصل رویش و افت محصول است [۱۳]. با توجه به اینکه این معیار هر چه بیشتر باشد نامناسب‌تر است، به عنوان معیاری با تأثیر منفی در تصمیم لحاظ خواهد شد. در جدول ۲ نیاز آبی محصولات انتخاب شده برای تصمیم ارائه شده است.

– شاخص اقتصادی

پارامترهای اقتصادی که برای محصولات کشاورزی در نظر گرفته می‌شود، نسبت میان هزینه و درآمد است. از این رو، میزان بازدهی یا «اصل سود»، یک وضعیت منطقی را فراروی متخصصان و کشاورزان قرار می‌دهد تا براساس آن، با کاستن از میزان هزینه‌ها، وضعیتی معقول را در نسبت درآمد ایجاد کنند. در جدول ۳ متوسط درآمد خالص فروش محصولات کشاورزی در هر هکتار، برحسب سه عامل درآمد ناخالص، متوسط هزینه‌ها و درآمد خالص، بر مبنای تحقیقات محلی و بررسی‌های میدانی در منطقه، ارائه شده است. این پارامتر با توجه به اینکه هر چه بیشتر باشد بهتر است، در تصمیم به عنوان پارامتری با تأثیر مثبت لحاظ خواهد شد.

– محدوده زمانی مشترک رشد محصولات

زمان رشد و کشت محصولات به صورت یک تاریخ قطعی نیست، بلکه به صورت یک بازه زمانی است. با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه مطالعه شده، این زمان برای هر محصول در طول یک بازه زمانی چندماهه است. این بازه زمانی برای محصولات انتخاب شده در اراضی مطالعه شده در جدول ۴ ارائه شده است.

– میزان و زمان آب در دسترس

در هر منطقه کشاورزی با توجه به ماهیت و موقعیت منطقه، یک نوع منبع تأمین آب اعم از چاه، قنات، رودخانه، سد و... وجود دارد. بر این اساس، این منطقه نیز از این نظر دو منبع اصلی چاه و رودخانه برای تأمین آب دارد. در جدول ۵ میزان و زمان آب در دسترس در اراضی مطالعه شده ارائه شده است.

1. Genetic algorithm

جدول ۱. طول دوره رشد محصولات کشاورزی تحقیق شده (بر مبنای روز)

عنوان محصول	گندم	جو	یونجه	پنبه	چغندر قند	ارزن	پیاز	شیدر
طول دوره رشد	۲۱۱	۱۹۱	۳۶۵	۲۰۶	۱۷۶	۱۱۳	۲۴۱	۲۸۲

منبع: بررسی و محاسبات نگارنده

جدول ۲. مقادیر کل نیاز آبی محصولات (مترمکعب بر هکتار)

عنوان محصول	گندم	جو	یونجه	پنبه	چغندر قند	ارزن	پیاز	شیدر
نیاز آبی	۴۸۰۰	۴۰۶۰	۹۶۴۰	۹۶۴۰	۹۴۲۰	۴۳۲۰	۶۰۲۰	۷۱۲۰

منبع: سند ملی آبیاری کشور

جدول ۳. سود متوسط فروش محصولات در هر هکتار (میلیون ریال)

عنوان محصول	گندم	جو	یونجه	پنبه	چغندر قند	ارزن	پیاز	شیدر
درآمد خالص	۴۴,۴۵	۳۱,۵۰	۷۹,۸۰	۱۰۷,۲۵	۸۶,۴۰	۶۶,۳۰	۹۳,۴۸	۴۰,۰۰

منبع: بررسی و محاسبات نگارنده

جدول ۴. محدوده زمانی رشد محصولات انتخاب شده

محصول	زمان نخستین آبیاری		زمان آخرین آبیاری	
	ماه	دهه	ماه	دهه
گندم	آبان	۲	خرداد	۱
جو	آبان	۳	اردیبهشت	۳
یونجه	فروردین	۱	آبان	۳
پنبه	فروردین	۳	آبان	۱
چغندر قند	فروردین	۲	شهریور	۳
ارزن	تیر	۲	مهر	۳
پیاز	مهر	۲	خرداد	۱
شیدر	مهر	۱	تیر	۱

منبع: بررسی و محاسبات نگارنده

جدول ۵. میزان آب در دسترس منطقه، در زمان های مختلف

ردیف	تاریخ	میزان آب در دسترس (مترمکعب در ثانیه)
۱	۱ فروردین ماه تا ۳۱ خرداد ماه	۰/۲۰
۲	۱ تیرماه تا ۳۱ شهریور ماه	۰/۱۳۵
۳	۱ مهرماه تا ۳۰ آذر ماه	۰/۱۵
۴	۱ دی ماه تا ۲۹ اسفند	۰/۰۵

منبع: بررسی و محاسبات نگارنده

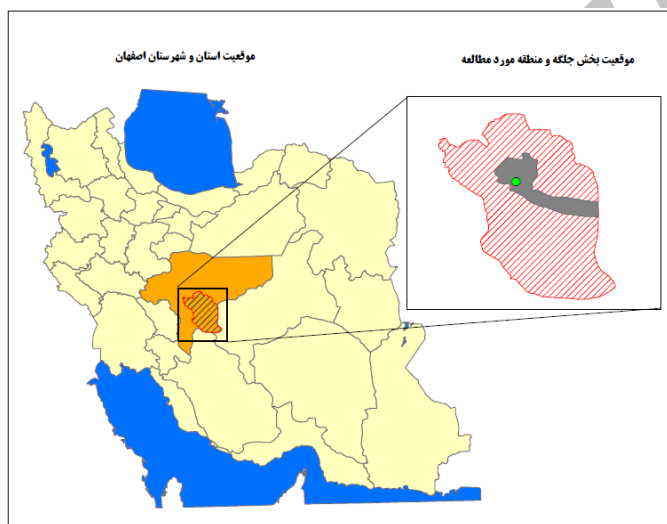
گستره منطقه مطالعاتی

موقعیت منطقه مطالعه شده بر مبنای تقسیمات سیاسی کشور در شکل ۲ نمایش داده شده است. بخش جلگه به

مرکزیت شهر هرنند از توابع شهرستان اصفهان از شمال به بخش کوهپایه، از جنوب به بخش جرقویه سفلی و علیا، از شرق به بخش بنرود و از غرب به بخش مرکزی اصفهان

معرفی زمین و منبع آب
 اراضی مطالعه شده شامل ۶۶ قطعه است. مجموع این قطعات مساحتی برابر با ۲۲۱/۶ هکتار به صورت خالص دارد. شبکه‌های آبرسانی این اراضی، با ابعاد و ظرفیت‌های مشخصی در کل اراضی ایجاد شده‌اند. از نظر منبع آب در این اراضی، از منبع چاه (در سمت شرق اراضی) و رودخانه (در سمت جنوب اراضی) تغذیه می‌شود. این دو منبع، اصلی‌ترین منابع تأمین آب برای کشت هستند. در شکل ۳ موقعیت قطعات کشاورزی و همچنین موقعیت منبع تأمین آب و شبکه آبرسانی نمایش داده شده است.

محدود می‌شود. این بخش بین ۳۲ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه تا ۵۳ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی با وسعت تقریبی ۲ هزار کیلومتر مربع شرق شهرستان اصفهان قرار دارد و ارتفاع بلندی آن از سطح دریا ۱۵۰۰ متر است. این بخش دارای دو شهر هرنند (مرکز بخش) و شهر اژییه بالغ بر ۹۰ روستا، مزرعه و مکان در قالب دو دهستان به نام‌های امامزاده عبدالعزیز و رودشت تشکیل شده است. اراضی مطالعه شده به مساحت ۲۲۱/۶ هکتار در قسمت شمال غربی این بخش قرار دارد. در شکل زیر موقعیت اراضی مطالعه شده در بخش جلگه نمایش داده شده است.



شکل ۲. موقعیت اراضی مطالعه شده



شکل ۳. موقعیت قطعات کشاورزی و شبکه آبرسانی اراضی

یافته‌ها

- بی‌مقیاس‌سازی (نرمالیزه‌کردن) ماتریس

تصمیم‌گیری: برای مقایسه‌پذیر شدن معیارها با مقیاس‌های مختلف، ماتریس معیارها باید به ماتریس بی‌مقیاس (نرمالایز) تبدیل شود. برای این کار از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

با توجه به رابطه یادشده، ماتریس تصمیم‌گیری، بی‌مقیاس‌سازی شده و نتایج در جدول ۷ ارائه شده است.

الف) اولویت‌بندی کشت محصولات

پس از مشخص شدن گزینه‌های انتخاب (انواع محصولات) و معیارهای تصمیم‌گیری (دوره رشد، نیاز آبی، درآمد خالص) که قبلاً بیان شد، با استفاده از مدل تصمیم‌گیری TOPSIS، اقدام به انتخاب محصولات مناسب‌تر می‌شود. مراحل این تصمیم‌گیری به شرح زیر است.

- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری؛ در قدم نخست با توجه به شمار معیارها و گزینه‌های انتخاب، ماتریس تصمیم‌گیری ایجاد می‌شود. این ماتریس با توجه به شاخص‌های بررسی شده در بخش جلگه استان اصفهان به صورت زیر تشکیل شده است (جدول ۶).

جدول ۶. ماتریس تصمیم‌گیری

معیارها گزینه‌ها	درآمد در هر هکتار (میلیون ریال)	نیاز آبی در هر هکتار (مترمکعب)	دوره رشد (روز)
گندم	۴۴/۴۵	۴۸۰۰	۲۱۱
جو	۳۱/۵۰	۴۰۶۰	۱۹۱
یونجه	۷۹/۸۰	۹۶۴۰	۲۴۵
پنبه	۱۰۷/۲۵	۹۶۴۰	۲۴۵
چغندر قند	۸۶/۴۰	۹۴۲۰	۱۷۶
ارزن	۶۶/۳۰	۴۳۲۰	۱۱۳
پیاز	۹۳/۴۸	۶۰۲۰	۲۴۱
شیدر	۴۰	۷۱۲۰	۲۸۲

منبع: محاسبات نگارنده

جدول ۷. ماتریس نرمالیزه‌شده

ماتریس نرمال	درآمد	نیاز آبی	دوره رشد
گندم	۰/۲۱۴	۰/۲۳۴	۰/۳۴۱
جو	۰/۱۵۲	۰/۱۹۸	۰/۳۰۹
یونجه	۰/۳۸۵	۰/۴۷۱	۰/۳۹۶
پنبه	۰/۵۱۷	۰/۴۷۱	۰/۳۹۶
چغندر قند	۰/۴۱۶	۰/۴۶	۰/۲۸۵
ارزن	۰/۳۲	۰/۲۱۳	۰/۱۸۳
پیاز	۰/۴۵۱	۰/۲۹۴	۰/۳۹
شیدر	۰/۱۹۳	۰/۳۴۸	۰/۴۵۶

(منبع: محاسبات نگارنده)

تکنیک‌های کارساز در زمینه وزن‌دهی به شاخص‌ها به‌شمار می‌آید، برای وزن‌دهی به شاخص‌ها استفاده شده است. در جدول ۸ ضریب هر یک از معیارها بر مبنای آن‌روپی شانون ارائه شده است.

– تشکیل ماتریس نرمال موزون

در این مرحله، هدف تشکیل ماتریس نرمال موزون بر اساس وزن معیارهاست. بنابراین، با استفاده از وزن معیارها که با استفاده از روش آن‌روپی شانون محاسبه شده است، به تشکیل ماتریس نرمال موزون اقدام شده است. جدول ۹ این ماتریس را ارائه داده است.

جدول ۸. ضریب معیارها بر مبنای آن‌روپی شانون

عنوان معیار	وزن معیارها (آن‌روپی)	اثر
درآمد خالص	۰/۴۶۹	مثبت
نیاز آبی	۰/۳۴۹	منفی
طول دوره رشد	۰/۱۸۳	منفی

منبع: محاسبات نگارنده

جدول ۹. ماتریس نرمالیزه‌شده موزون

ماتریس نرمال موزون	درآمد	نیاز آبی	دوره رشد
گندم	۰/۱	۰/۰۸۲	۰/۰۶۲
جو	۰/۰۷۱	۰/۰۶۹	۰/۰۵۷
یونجه	۰/۱۸۱	۰/۱۶۴	۰/۰۷۲
پنبه	۰/۲۴۲	۰/۱۶۴	۰/۰۷۲
چغندر قند	۰/۱۹۵	۰/۱۶۱	۰/۰۵۲
ارزن	۰/۱۵	۰/۰۷۴	۰/۰۳۳
پپاز	۰/۲۱۲	۰/۱۰۳	۰/۰۷۱
شیدر	۰/۰۹۱	۰/۱۲۱	۰/۰۸۳

منبع: محاسبات نگارنده

– محاسبه ایده‌آل‌های مثبت (A^*) و منفی (A^-) برای هر یک از شاخص‌ها

محاسبه PIS (Positive ideal point) و NIS (Negative ideal point) گام بعدی است. در این گام برای هر شاخص یک ایده‌آل مثبت و یک ایده‌آل منفی محاسبه می‌شود. مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی هر یک از شاخص‌های بررسی‌شده در جدول ۱۰ ارائه شده است. این مقادیر بر مبنای روابط زیر است.

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') \right\}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') \right\}$$

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$$

همچنین در محاسبه ایده‌آل‌های مثبت و منفی باید نکات زیر لحاظ شوند:

– برای معیارهایی که بار مثبت دارند، ایده‌آل مثبت بزرگ‌ترین مقدار آن معیار است.

- محاسبه راه حل ایده آل و رتبه بندی گزینه‌ها:

در این مرحله نسبت به تعیین گزینه‌های ایده آل و رتبه بندی هر یک از گزینه‌ها اقدام می‌شود. تعریف ریاضیاتی این راه حل به صورت زیر است.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*}$$

با توجه به تعداد گزینه‌های انتخاب، اولویت‌ها به ترتیب از عدد ۱ شروع و به عدد ۸ ختم می‌شود (عدد ۱ بیانگر مهم‌ترین و بیشترین اولویت و عدد ۸ نشان‌دهنده کمترین و پایین‌ترین اولویت است). در جدول ۱۲ گزینه‌های ایده آل و رتبه بندی گزینه‌ها ارائه شده است.

جدول ۱۰. مقادیر ایده آل مثبت و منفی هر یک از شاخص‌های بررسی شده

معیارها	ایده آل مثبت	ایده آل منفی
درآمد	۰/۳۴۲	۰/۰۷۱
نیاز آبی	۰/۰۶۹	۰/۱۶۴
دوره رشد	۰/۰۳۳	۰/۰۸۳

منبع: محاسبات نگارنده

جدول ۱۱. فاصله هر یک از گزینه‌های تحقیق از راه حل‌های ایده آل مثبت و منفی

گزینه‌ها	فاصله تا ایده آل مثبت	فاصله تا ایده آل منفی
گندم	۰/۱۴۶	۰/۰۸۹
جو	۰/۱۷۳	۰/۰۹۸
یونجه	۰/۱۱۹	۰/۱۱۱
پنبه	۰/۱۰۳	۰/۱۷۱
چغندر قند	۰/۱۰۵	۰/۱۲۸
ارزن	۰/۰۹۲	۰/۱۳
پپاز	۰/۰۵۹	۰/۱۵۷
شیدر	۰/۱۶۷	۰/۰۴۷

منبع: محاسبات نگارنده

جدول ۱۲. محاسبه گزینه‌های ایده آل و اولویت بندی آنها

گزینه‌ها	نزدیکی تا گزینه ایده آل	رتبه بندی (اولویت)
گندم	۰/۳۷۹	۶
جو	۰/۳۶۲	۷
یونجه	۰/۴۸۳	۵
پنبه	۰/۶۲۴	۲
چغندر قند	۰/۵۴۹	۴
ارزن	۰/۵۸۶	۳
پپاز	۰/۷۲۳	۱
شیدر	۰/۲۲	۸

منبع: محاسبات نگارنده

- برای معیارهایی که بار مثبت دارند، ایده آل منفی کوچک‌ترین مقدار آن معیار است.

- برای معیارهایی که بار منفی دارند، ایده آل مثبت کوچک‌ترین مقدار آن معیار است.

- برای معیارهایی که بار منفی دارند، ایده آل منفی بزرگ‌ترین مقدار آن معیار است.

- محاسبه فاصله از ایده آل مثبت (A^*) و ایده آل منفی (A^-); با استفاده از روابط زیر، این فاصله محاسبه و در جدول ۱۱ ارائه شده است.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

تحقیق به‌منظور محاسبه و بهینه‌سازی مساحت تخصیص داده‌شده به هر محصول، بر مبنای پارامترهای مد نظر، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نتایج این بهینه‌سازی به‌صورت جدول ۱۳ ارائه شده است.

ب) تعیین میزان کشت هر محصول

در این مرحله، هدف محاسبه و بهینه‌سازی مساحت تخصیص داده‌شده به هر محصول است. بنابراین، نیاز است پارامترهای مورد نیاز (نیاز آبی، دوره رشد محصولات، میزان آب موجود)، در مدلی پیاده و بررسی شوند. در این

جدول ۱۳. بهینه‌سازی مساحت تخصیص داده‌شده به هر محصول (هکتار)

عنوان محصول	پیاز	پنبه	ارزن	چغندر قند	یونجه	گندم	جو	شبدر
میزان بهینه کشت محصولات	۴۰	۵۰	۵۰	۵۰	۳۰	۵۰	۰	۰

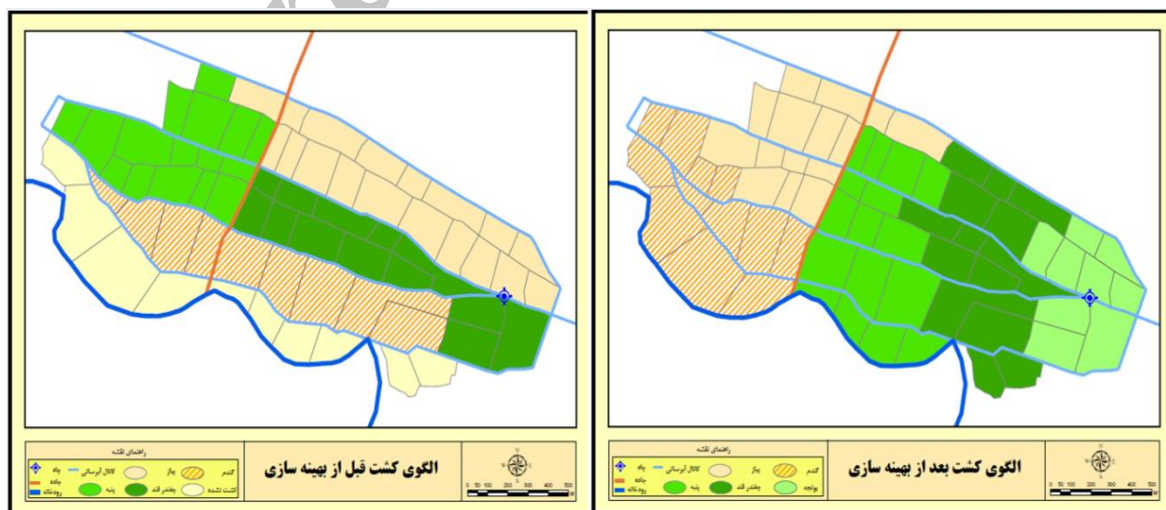
منبع: محاسبات نگارنده

ج) نقشه الگوی کشت محصولات

پس از تعیین و رتبه‌بندی محصولات و همچنین بهینه‌سازی تخصیص مساحت کشت به محصولات منتخب، باید بر مبنای پارامترهای مکانی نسبت به تعیین محل کشت هر محصول اقدام شود. در واقع، در این مرحله، هدف رسیدن به جواب کجایی کشت است. در این راستا، بر مبنای پارامترهای زیر نسبت به تعیین قطعه زمین، برای کشت محصولات و تهیه نقشه الگوی کشت اقدام شده است.

- نیاز آبی محصولات (هر چه نیاز بیشتر، به منبع آب نزدیک‌تر)
- زمان و فصل دوره رشد هر محصول (هر چه فصل رشد گرم‌تر، به منبع آب نزدیک‌تر)
- با توجه به پارامترهای یادشده و بانک اطلاعات تهیه‌شده در مراحل قبل، با استفاده از قابلیت‌ها و پردازش‌های مکانی GIS نقشه الگوی کشت محصولات تهیه شده است. خروجی پردازش‌های مکانی در این مرحله و تفاوت الگوی بهینه با الگوی کشت قبل از بهینه‌سازی بیانگر آن است که علاوه بر تغییر محل کشت محصولات، به نوعی بیشترین استفاده از زمین‌های زراعی شده است. نتایج این پردازش‌ها و الگوی کشت در شکل ۴ ارائه شده است.

- موقعیت مکانی منابع آب اراضی مطالعه‌شده (اعم از چاه و رودخانه)
- مساحت تخصیص داده‌شده برای کشت به هر محصول
- مساحت و تعداد قطعات موجود



شکل ۴. نقشه الگوی کشت محصولات قبل و بعد از بهینه‌سازی

بحث و نتیجه‌گیری

بقا و رفاه انسان به مدیریت کارآمد منابع طبیعی و کشاورزی بستگی دارد. به موازات رشد جوامع، مدیریت این منابع پیچیده‌تر شده است. عواملی همچون افزایش جمعیت، توسعه شهرنشینی، رشد درآمد و تغییر الگوی مصرف غذایی سبب توجه بیشتر به افزایش بهره‌وری زمین‌های زراعی و منابع در دسترس کشاورزان شده است. بنابراین، مدیران واحدهای کشاورزی به تولید محصولات بهینه کشاورزی با استفاده از روش‌های مختلف علمی نیاز دارند. در این راستا، هدف اصلی در این تحقیق نیز استفاده بهینه و بهره‌وری بیشتر از منابع و امکانات موجود با استفاده از تعیین الگوی کشتی بهتر است.

در این تحقیق مشخص شده است که با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، می‌توان از بین چندین گزینه انتخاب، بر مبنای چندین معیار و پارامتر با اهمیت برای تصمیم، بهترین انتخاب‌ها را انجام داد. به‌بیانی با بهتر کردن تصمیم و انتخاب‌ها و همچنین با ترکیب این انتخاب‌ها و پارامترهای ترکیبی دیگر با الگوریتم‌های بهینه‌سازی، می‌توان به تعیین مناسب سطح کشت محصولات پرداخت تا در طول سال زراعی مشکلی ایجاد

نشود. در جدول ۱۴ نوع محصول و میزان مساحت کشت هر محصول در دوره زمانی قبل و بعد از بهینه‌سازی در منطقه مطالعه شده ارائه شده است. این جدول بیانگر افزایش سطح زیر کشت و انتخاب محصولاتی بهتر با بهره‌وری مناسب‌تر است.

علاوه بر تغییر الگوی کشت و افزایش سطح زیر کشت محصولات، با توجه به اینکه این سیستم، بدون تغییر در میزان آب موجود این محصولات را انتخاب کرده است، می‌توان بیان کرد که با این الگوی کشت جدید، در واقع به نوعی از هدررفت بیهوده آب جلوگیری کرده و بهره بیشتر و بهینه‌تری از میزان آب موجود برده است. به‌بیانی می‌توان بیان کرد که با استفاده از این الگوی کشت و مقایسه پارامترهایی همچون میزان درآمد، برطرف‌سازی میزان نیاز آبی بیشتر و بررسی میزان سطح کشت اراضی در دو بازه زمانی قبل و بعد از بهینه‌سازی می‌توان به این نتیجه رسید که با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی و سیستم‌های نوین مدیریتی، می‌توان به‌طور متوسط افزایش حداقل ۲۵ درصدی بهره‌وری داشت. جزئیات این بررسی و مقایسه در جدول ۱۵ و شکل ۵ ارائه شده است.

جدول ۱۴. نوع محصول و میزان مساحت کشت هر محصول قبل و بعد از بهینه‌سازی

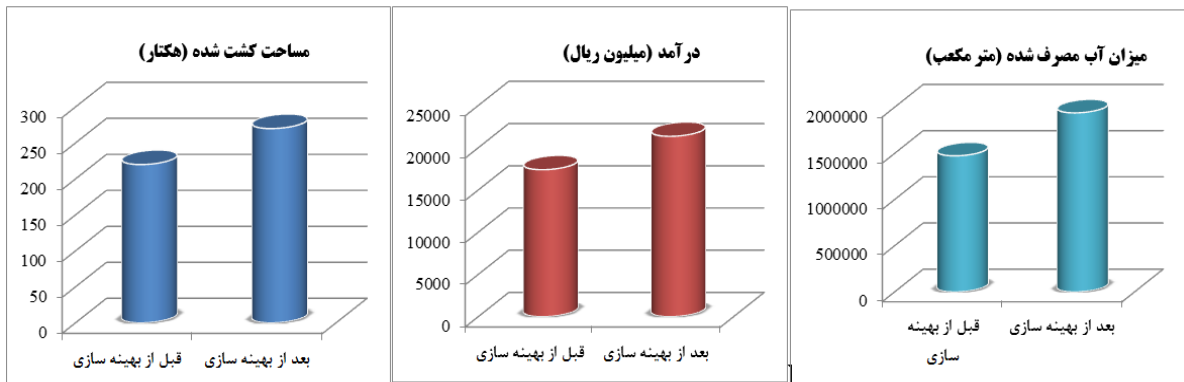
محصول	میزان کشت قبل از بهینه‌سازی	میزان کشت بعد از بهینه‌سازی
پیاز	۵۰	۴۰
پنبه	۴۰	۵۰
ارزن	۴۵	۵۰
چغندر قند	۴۰	۵۰
یونجه	۰	۳۰
گندم	۴۵	۵۰
جو	۰	۰
شبدرد	۰	۰

منبع: بررسی و محاسبات نگارنده

جدول ۱۵. مقایسه پارامترهای سه‌گانه در قبل و بعد از بهینه‌سازی

پارامتر	قبل از بهینه‌سازی	بعد از بهینه‌سازی	درصد تغییر
مساحت کشت‌شده (هکتار)	۲۲۰	۲۷۰	۱/۲۲
معیار درآمد	۱۷۴۰۳,۷۵	۲۱۳۵۳,۲	۱/۲۲
معیار نیاز آبی	۱۴۷۳۸,۰۰	۱۹۳۹۰,۰۰	۱/۳۱

منبع: بررسی و محاسبات نگارنده



شکل ۵. نمایش مقدار پارامترهای مختلف در قبل و بعد از بهینه‌سازی

[۶]. وفائی نژاد، علیرضا. یوسف‌زاده، جواد. یوسفی، حسین. محمدی ورزنده، ناصر. ۱۳۹۳، «مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و تخصیص الگوی کشت به کمک GIS و برنامه‌ریزی خطی (نمونه موردی: اراضی پایین دست سد آغ‌چای)»، *اکوهیدرولوژی*، شماره ۲، ص. ۱۲۳-۱۳۲.

[۷]. رستگاری‌پور، فاطمه. صبوحی، محمود. ۱۳۸۸، «تعیین الگوی کشت با استفاده از برنامه‌ریزی فازی خاکستری (مطالعه موردی: شهرستان قوچان)»، *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۴۸، ص. ۴۰۵-۴۱۳.

[۸]. ذاکری‌نیا، مهدی. قربانی، خلیل. هزارجریبی، ابوطالب. ۱۳۹۳، «تعیین نیاز آبی گیاهان الگوی کشت شبکه آبیاری با استفاده از ArcET (مطالعه موردی: دشت درودزن فارس)»، *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، شماره ۲، ص. ۱۹۱-۲۰۸.

[۹]. خاشعی سیوکی، عباس. قهرمان، بیژن. کوچک‌زاده، مهدی. ۱۳۹۳، «تعیین الگوی کشت بهینه برای جلوگیری از افت آب زیرزمینی با الگوریتم PSO»، *مجله پژوهش آب/ایران*، شماره ۱۴، ص. ۱۳۷-۱۴۶.

[۱۰]. حسین‌زاد، جواد. نامور، آیدا. حیاتی، باب‌اله. پیش‌بهار، اسماعیل. ۱۳۹۳، «تعیین الگوی کشت محصولات زراعی با تأکید بر کشاورزی پایدار در اراضی زیر سد علویان»، *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*، شماره ۲، ص. ۴۱-۵۴.

منابع

[۱]. محمدی، حمید. بوستانی، فردین. کفیل‌زاده، فرشید. ۱۳۹۱، «تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه غیرخطی فازی»، *فصلنامه علمی - پژوهشی آب و فاضلاب*، شماره ۴، ص. ۴۳-۵۵.

[۲]. میرزایی، شکیبا. ذاکری‌نیا، مهدی. شریفان، حسین. شهبایی‌فر، مهدی. ۱۳۹۴، «تعیین الگوی کشت بهینه با روش بهینه - کمینه (MMAS) سیستم مورچگان (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان)»، *نشریه آبیاری و زهکشی/ایران*، شماره ۱، ص. ۶۶-۷۴.

[۳]. امینی فسخودی، عباس. نوری، سید هدایت‌الله. ۱۳۹۰، «ارزیابی پایداری و تعیین الگوی کشت سیستم‌های زراعی براساس بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع آب و خاک با استفاده از الگوهای غیرخطی برنامه‌ریزی»، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۵۵، ص. ۹۹-۱۰۹.

[۴]. شعبانی، محمدکاظم. هنر، تورج. ۱۳۸۷، «تعیین الگوی بهینه کشت در کانال‌های آبیاری با استفاده از مدل IPM»، *مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، شماره ۲، ص. ۹۵-۱۰۶.

[۵]. قاسمی، عبدالرسول. حسنلو، سعید. بیروز، رزا. نجفی علمدارلو، حامد. ۱۳۹۴، «رویکرد محیط زیستی در تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی (مطالعه موردی: منطقه ورامین)»، *پژوهش‌های محیط زیست*، شماره ۱۱، ص. ۱۶۳-۱۷۲.

- banking performance based on Balanced Scorecard, Expert systems with Applications, vol36, pp.10135-10147.
- [18]. Rogers, T.B., Bruen, M., 1998. a system for weighting environmental ELECTER III, European Journal of Operational Research, vol107, pp.507-529.
- [19]. Opricovic, S., Tzeng. G.H., 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. European Journal of Operational Research, vol56, pp. 445-455.
- [20]. Jadidi, T.S. Hong, F. Firouzi, R.M., Yusuff and Zulkifli, N., 2008. TOPSIS and fuzzy multi-objective model integration for supplier selection problem, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, University Putra Malaysia, vol31, pp.762-769.
- [21]. Dury, J., Garcia, F., Reynaud, A., & Bergez, J. E. (2013). Cropping-plan decision-making on irrigated crop farms: A spatio-temporal analysis. European Journal of Agronomy, vol 50, pp. 1-10.
- [22]. Charnes A., Cooper W. (2014). An application of linear programming model for planning dry-seasonal irrigation system. Trends in Applied Sciences Research, vol 5, pp.64-70.
- [23]. Vivekanandan, N., Viswanathan, K. and Sanjeev G. (2015). Optimization of cropping pattern using goal programming approach, OPSEARCH, vol3, pp.259-274.
- [۱۱]. پورطاهری، مهدی. سجاسی قیداری، حمداله. صادقلو، طاهره. ۱۳۸۹، «سنجش و اولویت‌بندی پایداری اجتماعی در مناطق روستایی، با استفاده از تکنیک رتبه‌بندی براساس TOPSIS (مطالعه موردی: دهستان حومه بخش مرکزی شهرستان خدابنده)»، پژوهش‌های روستایی دانشگاه تهران، ص. ۱-۳۱.
- [۱۲]. کارآموز، محمد. احمدی، آزاده. فلاحی، مهدیس. ۱۳۸۵، مهندسی سیستم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول.
- [۱۳]. علیزاده، امین؛ کمالی، غلامعلی؛ کشاورز، عباس؛ وظیفه‌دوست، مجید. ۱۳۸۷، نیاز آبی گیاهان در ایران، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ اول.
- [14]. Xia, H.C., Li, D.F., Zhou, J.Y. and Wang, J.M., 2014. Fuzzy Lin Map method for multi – attribute decision making under fuzzy environments, Journal of Operational Research, vol131, pp. 587- 620.
- [15]. Zanakis, SH., Soloman, A., Wishart, N and Dulish, S., 1998. Multi-attribute decision making: Assimilation comparison of select methods, European Journal of Operational Research , vol107, pp. 507-529.
- [16]. Wang, X., Triantaphyllou, S., 2008. Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE method, vol36, pp.45- 63.
- [17]. Wu, H.Y., Tzeng, G.H., and Chen, Y.H., 2009. A fuzzy MCDM, approach for evaluating