کاربرد MCAT در بهینه‌سازی و الویت‌بندی تخصیص اراضی دیم بر اساس میزان مصرف کود وسموم شیمیایی (مطالعه موردی: شهرستان گنبدکاووس)

بهناز راحلی نمین[۱]، ثمر مرتضوی[۱*] و عبدالرسول سلمان ماهینی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۱۱)

چکیده

این مطالعه با استفاده از رویکرد مدل‌سازی و ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری Multiple criteria analysis tool (MCAT) با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی، ترکیب بهینه‌ای از محصولات کشاورزی دیمی ارائه می‌دهد. چارچوب پیاده‌سازی رویکرد ارائه شده بر اساس روش تجزیه و تحلیل چند معیاره و الگوریتم‌های فراتکاملی است. تولید محصولات کشاورزی کافی و با کیفیت مناسب و درآمد مناسب برای کشاورزان با کمترین آسیب به محیط زیست از اهداف اصلی بهینه‌سازی محصولات کشاورزی است. هدف اصلی این مطالعه اولویت‌بندی، بهینه‌سازی و تخصیص اراضی دیم شهرستان گنبدکاووس استان گلستان برای محصولات راهبردی گندم، جو، کلزا و سویا در دو سناریوی اقتصادی– اجتماعی و محیط زیستی بوده است. به‌دلیل در دسترس نبودن اطلاعات و داده‌های صحیح میزان مصرف کود و سموم شیمیایی در مزارع منطقه مورد مطالعه، با استفاده از مصاحبه حضوری و چهره به چهره با کشاورزان این داده‌ها جمع‌آوری شد. نتایج حاکی از بالا بودن مقدار مصرف کود و سموم در منطقه مورد مطالعه بود. همچنین مصرف برخی از سموم نسبتاً خطرناک و خیلی خطرناک نیز در منطقه مشاهده شد. از آنجا که هدف اصلی در این مطالعه کمینه کردن میزان مصرف آب، کود و سموم و بیشینه کردن سود به هزینه، اشتغال‌زایی، افزایش عملکرد و میزان تولید ماده خشک است، نتایج نشان می‌دهد در سناریوی محیط زیستی با تفاوت اندکی در نسبت تخصیص اراضی و میزان سود به‌ترتیب جو، کلزا و سویا اولویت کشت در منطقه را دارند. این تفاوت اندک حاکی از شرایط بهینه برای کشت این محصولات است و اختلاف سود آنها در سناریو محیط زیستی، مربوط به میزان مصرف کود و سموم در هر یک از محصولات یاد شده است. در سناریوی اقتصادی و اجتماعی نیز به‌ترتیب کلزا، گندم و جو بالاترین نسبت تخصیص اراضی و میزان سود را دارند. درنهایت رویکرد ارائه شده در این مطالعه با ترکیب جنبه‌های مختلف محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی ترکیب بهینه‌ای از محصولات کشاورزی در شرق استان گلستان را ارائه می‌دهد و برنامه‌ریزان را قادر به طراحی سیستم کشت بهینه و مدیریت صحیح در کوددهی و میزان مصرف آب و سموم می‌کند.

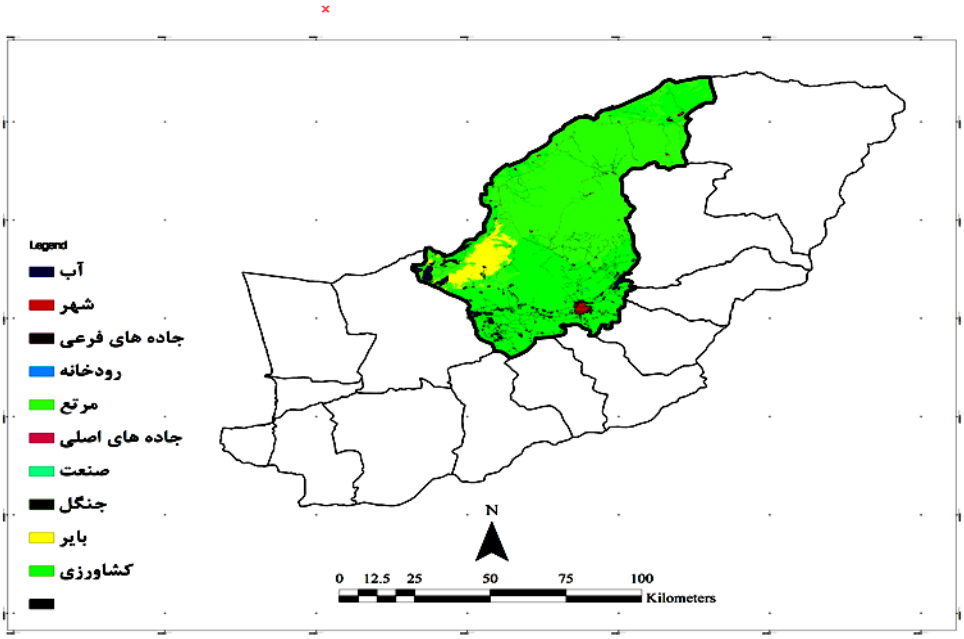
واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، محصولات دیم، کود و سموم، MCAT، گنبدکاووس

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع‌طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۲. گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان، گرگان، گلستان، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mortazavi.s@gmail.com

مقدمه

بهینه‌سازی هنر یافتن بهترین جواب در بین وضعیت‌های موجود است. مسئله بهینه‌سازی در واقع یافتن جواب یا جواب‌هایی روی یک مجموعه از گزینه‌های امکان‌پذیر (رعایت قیود مسئله) با هدف بهینه کردن معیار یا معیارهای مسئله است. تولید محصولات کشاورزی کافی و با کیفیت مناسب و درآمد مناسب برای کشاورزان با کمترین آسیب به محیط زیست از اهداف اصلی بهینه‌سازی محصولات کشاورزی است. کاربرد کودهای شیمیایی در طول ۱۰۰ سال، تقریباً افزایش ۱۰۰ برابری داشته است. این کودها برای تولید محصول در حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد بهره‌وری دارند و مابقی در خاک رسوب می‌کنند یا آبشویی می‌شوند و باعث اختلال جدی در اکوسیستم می‌شوند (۱۹). مسلماً یکی از گسترده‌ترین و مخرب‌ترین اثرات کشاورزی استفاده بیش از حد کودها و کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی و آلودگی منابع آب آشامیدنی است، که می‌تواند خطرات جدی برای سلامت انسان رقم بزند (۲۰، ۲۲، ۳۰ و ۳۳). در اروپا و دیگر نقاط جهان، کشاورزان را به کاهش استفاده از آفت‌کش‌ها با اتخاذ به اصول مدیریت تلفیقی آفات تشویق می‌کنند. در همین راستا صاحبان منفعت بخش کشاورزی که شامل کشاورزان، مشاوران، پژوهشگران و سیاست‌گذاران ملزم به یادگیری اصولی در سیستم‌های کشت هستند که بتواند جنبه‌های مختلف پایداری را تأمین کند (۱۰). بسته به تعداد توابع هدف موجود، یک مسئله بهینه‌سازی به دو دسته تقسیم می‌شوند: مسائل بهینه‌سازی تک‌هدفه و مسائل بهینه‌سازی چند هدفه، با توجه به اینکه طبیعت بسیاری از مسائل برنامه‌ریزی محیط زیست و مطالعه حاضر چند هدفه است، در چنین وضعیتی روش‌های سنتی برنامه‌ریزی نمی‌تواند جوابگوی خواسته‌های تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران باشد (۲۰). بهینه‌سازی چند هدفه یکی از ابزارهای برجسته برای آنالیز تصمیم‌های چند هدفه در مدیریت محیط‌زیست منابع‌طبیعی و کشاورزی است که از ویژگی‌های آن دستیابی همزمان به چندین هدف برمبنای اولویت‌بندی است (۲۷). مورد بهینه‌سازی محصولات کشاورزی مطالعات متعددی صورت گرفته است. آبیار و همکاران (۱)، مزیت نسبی استان گلستان در تولید گندم، جو و برنج را با استفاده از روش هزینه منابع داخلی بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که حساسیت شاخص مزیت نسبی تولید برای جو آبی و به‌ویژه جو دیم نسبتاً زیاد است، به‌طوری که با افزایش نه چندان زیاد عملکرد در واحد سطح یا قیمت جهانی آن، دستیابی به مزیت نسبی در تولید آن امکان‌پذیر خواهد بود. امیدوار و همکاران (۲۳)، یک مدل فازی بهینه‌سازی الگوی کشت و تخصیص آب بر مبنای تئوری‌بازی‌های همکارانه را در کانال اردبیهشت شبکه آبیاری درودزن فارس تدوین کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که با تخصیص آب بیشتر به بخش‌های با پتانسیل تولید بیشتر، سود و بهره‌وری اقتصادی آب افزایش می‌یابد. در مطالعه‌ای ایداومن، رقابت مناطق مختلف کشور نیجریه در تولید دانه‌های روغنی را با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی بررسی کرده است. در مطالعه وی تولید دانه‌های روغنی با محدودیت‌های زمین و کارخانه‌های روغن‌کشی محدود شده است. نتایج بررسی وی نشان می‌دهد که منطقه میدل بلت به‌دلیل موقعیت مرکزی آن، اقتصادی‌ترین منطقه در تولید دانه‌های روغنی نسبت به سایر مناطق بوده و بالاترین ارزش سایه‌ای به ازای هر هکتار زمین را داراست و در مقابل، منطقه غرب کمترین قیمت سایه‌ای را به‌ازای هر هکتار زمین دارا است. همچنین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که هزینه حمل و نقل به‌عنوان اصلی‌ترین عامل در کاهش سوددهی تولید دانه‌های روغنی مطرح است (۹). بنلی و کودال از مدل بهینه‌سازی خطی و غیر خطی برای بهینه‌سازی الگوی کشت و میزان استفاده از آب در ترکیه استفاده کردند. آنها نشان دادند که مدل بهینه‌سازی غیر خطی نتایج بهتری را نسبت به مدل خطی ارائه می‌دهد (۴). قبرزجابر و همکاران از رویکرد تصمیم‌گیری بر اساس معیارهای چندگانه تصمیم‌گیری (MCDM) برای مدیریت سیستم کوددهی در هلند استفاده کردند. آنها نشان دادند که سیستم مدیریت کود زمانی قابل قبول است که به‌طور همزمان به اهداف محیط زیستی، رفاه اجتماعی و اقتصادی

کشاورزان و جامعه دست یابد (۲۶). استان گلستان به لحاظ موقعیت جغرافیایی و شرایط آب‌وهوایی، یکی از استان‌های حاصلخیز برای کشاورزی است و در تولید محصولات راهبردی کشور که در سبد اصلی خانوار جای دارند، نقش بسزایی دارد. مساعد بودن آب‌وهوای استان گلستان برای تولید اغلب محصولات کشاورزی باعث شده که این استان از نظر تولید محصولات زراعی دارای تنوع بالایی باشد، به‌طوری که در دانه‌های روغنی به‌خصوص سویا و کلزا، استان گلستان در کشو دارای رتبه‌های نخست از نظر سطح زیر کشت و تولید است و به‌عنوان یکی از مناطق مستعد برای تولید گندم و جو آبی یا دیم به‌شمار می‌رود (۱۶) و جزو سه استان برتر در تولید محصول گندم دیم در سطح کشور است (۱۵). کشاورزی محور اصلی فعالیت‌های اقتصادی و تأمین معاش مردم استان گلستان است. پیش از سه دهه گذشته استفاده از سموم و کودهای شیمیایی چندان رواج نداشت و کشاورزان برای افزایش تولید محصولات کشاورزی خود بیشتر از کودهای طبیعی استفاده می‌کردند، در سال‌های اخیر استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها به شکل بی‌رویه‌ای رواج یافته است. از آنجا که کودهای شیمیایی بیش از کودهای غیرشیمیایی سبب افزایش چند برابری محصولات کشاورزی می‌شود و یارانه‌های خوبی نیز به این سموم تعلق می‌گیرد، لذا در سال‌های اخیر کشاورزان بدون در نظر گرفتن عواقب ناشی از سموم اقبال بالایی به مصرف آنها نشان داده‌اند (۲)، از سویی آمار و اطلاعات صحیح در مورد میزان مصرف کود و سموم در منطقه وجود ندارد و ارائه آمار به‌جای اینکه بر اساس مقدار واقعی مصرف باشد بر اساس استانداردهای موجود است. روش کار صورت گرفته در پژوهش حاضر با کارهای داخلی همپوشانی ندارد و بر اساس روش تجزیه و تحلیل چند معیاره و الگوریتم‌های فراتکاملی به‌عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده شده که در آن نیازی به استفاده از روش‌های آماری نیست و همچنین مبنا نظرات کارشناسی نبوده و کار کاملاً داده‌محور است. از این‌رو برای دومین بار در جهان در بخش اول این مطالعه آمار و اطلاعات صحیح و واقعی مصرف کود و سموم در اراضی دیم شرق استان گلستان برای محصولات راهبردی گندم، جو، کلزا و سویا از طریق مصاحبه حضوری و چهره به چهره با کشاورزان، کارشناسان جهاد کشاورزی و فروشندگان کود وسم جمع‌آوری شد. در بخش دوم الویت‌بندی، بهینه‌سازی و تخصیص اراضی دیم برای محصولات فوق با استفاده از روش بهینه‌سازی چند هدفه و الگوریتم‌های فراتکاملی انجام گرفت. الگوریتم‌های فرا ابتکاری را می‌توان یکی از مهم‌ترین روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی به‌شمار آورد. راهکارهای پیشرفته و کلی جستجو هستند و گام‌ها و معیارهایی را پیشنهاد می‌کند که در فرار از دام بهینه‌های موضعی بسیار مؤثر هستند. عامل مهم در این روش‌ها، تعادل پویا بین استراتژی‌های تنوع بخشی و پرقدرت‌سازی است. تنوع‌بخشی به جستجوی گسترده در فضای جواب اشاره دارد و پرقدرت‌سازی به معنی بهره‌برداری از تجربیات به‌دست آمده در فرآیند جستجو و تمرکز بر نواحی پرامیدتر فضای جواب است (۱۱). بدین‌منظور از ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری MCAT که چارچوب پیاده‌سازی آن بر اساس روش تجزیه و تحلیل چند معیاره و الگوریتم‌های فراتکاملی است، استفاده شد. در این مطالعه میزان زمین در دسترس برای کشت محصولات مختلف به‌عنوان محدودیت در نظر گرفته شده است. در صورتی که یک گزینه امتیاز بالایی داشته باشد، ولی از میزان هزینه (میزان زمین در دسترس) فراتر رود، آن گزینه انتخاب نمی‌شود. این روش تحت عنوان مسئله کوله‌پشتی شناخته شده است که مسئله‌ای در بهینه‌سازی ترکیبیاتی است. اغلب تصمیم‌گیرندگان فقط دنبال یک گزینه تصمیم‌گیری بهینه نیستند بلکه به‌دنبال مجموعه‌ای از گزینه‌های تصمیم‌گیری هستند که به نفع کل سیستم بوده و بیش از بودجه در دسترس نباشد. مشکلات ترکیبی به‌منظور انتخاب گزینه‌های بهینه از مجموعه گزینه‌ها، قابل مقایسه با یک کوله‌پشتی است که با مواردی که هر کدام دارای ارزش خاص است، با توجه به محدود بودن حجم کوله‌پشتی پر شود. برای حل مسئله از روش‌های فراتکاملی یا متاهیورستیک جستجوی محلی یا الگوریتم



شکل ۱. نقشه کاربری اراضی و موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان گلستان

تپه‌نوردی، جستجوی ممنوعه و الگوریتم شاخه و حد استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان گنبدکاووس در شرق استان گلستان است. با ۵۵ درجه و ۱۸ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه عرض جغرافیایی در قسمت شمالی و مرکزی استان گلستان واقع شده و از شمال با کشور ترکمنستان، از جنوب با شهرستان‌های آزادشهر و رامیان، از شرق با شهرستانهای مراوه تپه، کلاله و مینودشت و از غرب با شهرستان آق‌قلا محدود می‌شود (شکل ۱). این شهرستان از نظر آب‌وهوایی جزو اقلیم مدیترانه‌ای به‌حساب آمده که دارای فصل تابستان نسبتاً گرم و خشک بوده طوری که ۱۵۰ تا ۲۰۰ روز از سال آبی خشک است. موقعیت طبیعی شهرستان به‌گونه‌ای است که بر پدیده‌های اقلیمی خصوصاً بارندگی تأثیر فراوانی می‌گذارد که عمدتاً به‌دلیل کاهش ارتفاعات رشته کوه‌های البرز شرقی در این منطقه و دور شدن از دریا، میزان بارندگی آن بین ۲۰۰ میلی‌متر و حداکثر ۴۰۰ میلی‌متر در سال است که هر چه به طرف شمال (نوار مرزی) پیش می‌رویم از میزان بارندگی کاسته شده طوری که به میزان ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر در طول سال می‌رسد (۱۵). این استان به‌دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی یکی از قطب‌های کشاورزی کشور محسوب می‌شود و بسیاری از محصولات استراتژیک که در سبد اصلی خانوار جای دارند (گندم، جو، کلزا و سویا) در این منطقه کشت می‌شوند.

روش تحقیق

برای دستیابی به هدف اول مطالعه، آمار و اطلاعات صحیح و واقعی مصرف کود و سموم در اراضی دیم شرق استان گلستان برای محصولات راهبردی گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare*)، کلزا (*Brassica napus*) و سویا (*GIycins max*) از طریق مصاحبه حضوری و چهره به چهره با کشاورزان، کارشناسان جهاد کشاورزی و فروشندگان کود و سم جمع‌آوری شد. جامعه مورد نظر شامل حدود ۱۶۵۰۲ بهره بردار

کشاورز در شهرستان گنبدکاووس استان گلستان است (۲۴). برای تعیین حجم نمونه از فرمول کوکران (۸)، استفاده شد که حجم نمونه ۳۷۵ نفر به‌دست آمد.

$$n=\frac{\frac{z^2pq}{d^2}}{1+\frac{1}{N}\left(\frac{z^2pq}{d^2}-1\right)} \quad (1)$$

در این فرمول n =اندازه نمونه، N= انداه جمعیت (۵۱۶۰۷)، و برای p و q هر کدام ۰/۵، d مقدار خطا (۰/۰۵) و z باشد. z اندازه استاندارد سطح قابل بررسی که در سطح ۹۵ درصد مقدار آن ۱/۹۶ است.

شهرستان کلاله که دارای دو بخش و پنج دهستان است. روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای بود و نظرخواهی از کشاورزان از اردیبهشت آغاز و تا اواخر شهریور ۱۳۹۴ طول کشید. اعتبار محتوایی کلیه پرسشنامه‌ها با نظرخواهی از کارشناسان جهاد کشاورزی و اعضای هیئت‌علمی کشاورزی و محیط زیست انجام شد. به‌منظور محاسبهٔ قابلیت اعتماد از روش آلفای کرونباخ (۸) برای بخشی از پرسشنامه استفاده شد که مقدار بیش از ۸۰ درصد بود. داده‌ها، اطلاعات و شاخص‌های مورد نیاز برای بهینه‌سازی، اولویت‌بندی و تخصیص اراضی دیم منطقه مورد مطالعه عبارت‌اند: مقدار تولید ماده خشک، تولید شغل، ضریب حمایت سیاستی، نیاز به ماشین‌آلات، سود به هزینه، سهم در سبد خانوار، نسبت عملکرد (۳۲)، میزان مصرف کود (فسفاته و ازته) و سموم شیمیایی با توجه به میزان سمیت.

بهینه‌سازی محصولات با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل چند معیاره و اگوریتم‌های فراتکاملی در نرم‌افزارMCAT صورت گرفت. الگوریتم‌های فرا ابتکاری، راهکارهای پیشرفته و کلی جستجو هستند و گام‌ها و معیارهایی را پیشنهاد می‌کنند که در فرار از دام بهینه‌های موضعی بسیار مؤثر هستند. MCAT با قابلیت بهینه‌سازی اجازه انتخاب گزینه‌های تصمیم‌گیری و یا مدیریتی را با توجه به محدودیت‌های موجود در مسائل تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند که در این مطالعه سطح زمین‌های در دسترس به‌عنوان محدودیت در نظر گرفته شده است (۲۲).

در این نرم‌افزار فرض می‌شود که انتخاب یک گزینه تصمیم‌گیری، به فاصله آن با ایده‌آل یا آرمان تعریف شده توسط کاربر و یا متخصص بستگی دارد که این بر اساس رویکرد برنامه‌ریزی سازشی است که در MCAT استفاده می‌شود. در برنامه‌نویسی سازشی امتیاز هر یک از معیارها با استفاده از یکسری توابع محاسبه می‌شود.

در برنامه‌نویسی سازش معمولی U_j^- برای گزینه j ام، به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$U_j^-=\left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c\left(1-\frac{f_i^+-f_{ji}}{f_i^+-f_i^-}\right)^c\right]^{1/c} \quad (2)$$

که در آن f_i^+ بهترین نمره (یا نمره ایده‌آل/ هدف) برای معیار i و f_i^- بدترین (و یا حداقل مقدار ایده‌آل) برای معیار i. f_{ji} نمره عملکرد معیار i برای گزینه j است. c پارامتری است که نشان‌دهنده اهمیت حداکثر انحراف از راه حل ایده‌آل است. ($1 \le c \le \infty$) Wi وزن معیار i است، m تعداد معیارها است. مقدار U_j برای ۱ بهترین و صفر بدترین حالت است.

معادله بالا به‌صورت زیر ساده می‌شود:

$$\frac{f_i^+-f_{ji}}{f_i^+-f_i^-}=g_{ij} \quad (3)$$

$$U_j^-=\left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c(1-g_{ij})^c\right]^{1/c} \quad (4)$$

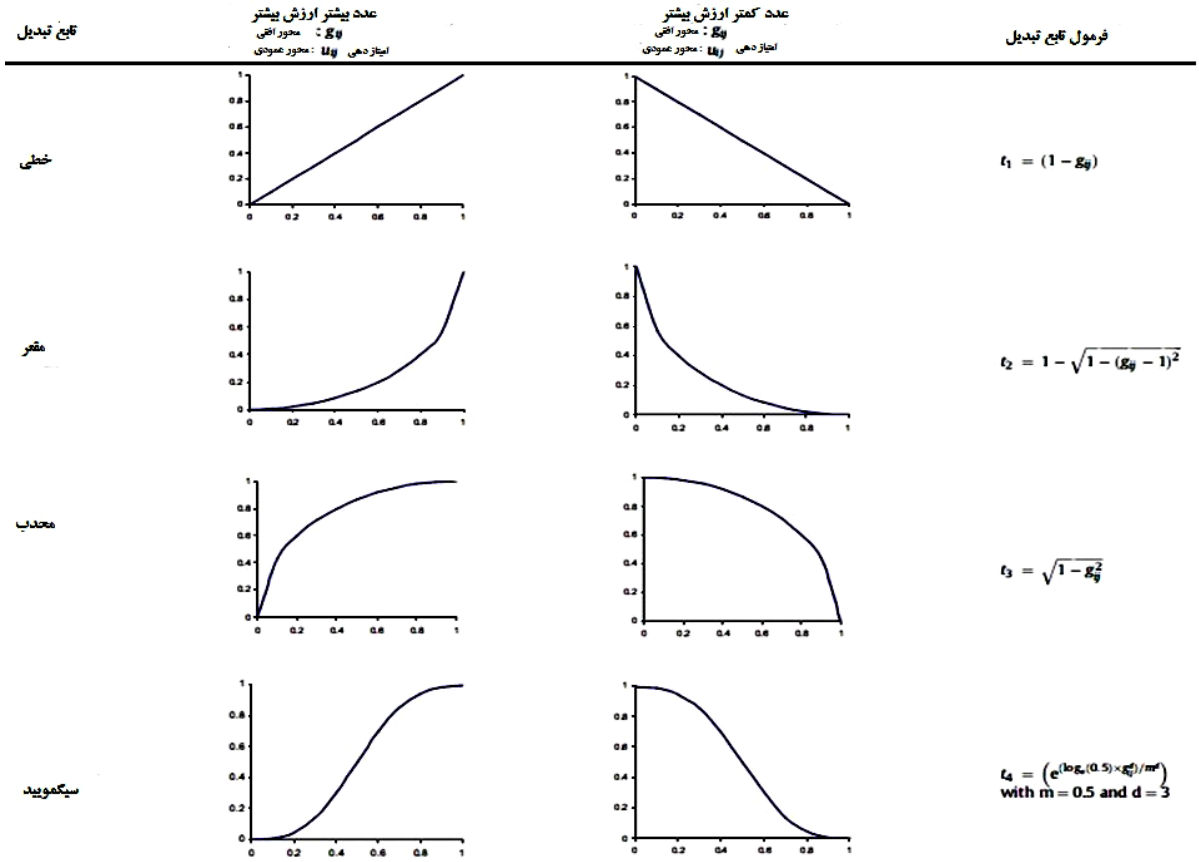
معادله فوق زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که امتیاز تمامی معیارها با استفاده از توابع خطی تبدیل می‌شوند. همچنین MCAT این قابلیت را دارد که برای حصول نتایج بهتر به کاربر اجازه استفاده از توابع غیر خطی که در معادلات و شکل زیر نشان داده شده‌اند، را می‌دهد.

تابع محدب (Convex)

$$U_j^-=\left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c\left(1-\sqrt{1-(g_{ij}-1)^2}\right)\right]^{1/c} \quad (5)$$

تابع مقعر (Concave)

$$U_j^-=\left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c\left(\sqrt{1-g_{ij}^2}\right)^c\right]^{1/c} \quad (6)$$



شکل ۲. نمودار توابع مورد استفاده در بهینه‌سازی محصولات کشاورزی در شهرستان گنبدکاووس

تابع سیگموید (Sigmoidal)

$$U_j^- = \left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c \left(e^{(\log_e(0.5)*g_{ij}^d)/m^d}\right)\right]^{1/c} \quad (۷)$$

این توابع تبدیل با توجه به هدف مطالعه، کمیت و کیفیت داده‌های موجود و سود و هزینه صاحبان منفعت انتخاب می‌شوند (شکل ۲).

توابع هدف مورد استفاده در این مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است که عامل محدودیت برای تمامی توابع میزان زمین‌های در دسترس در نظر گرفته شده است.

اغلب، تصمیم‌گیرندگان فقط دنبال یک گزینه تصمیم‌گیری بهینه نیستند بلکه به‌دنبال مجموعه‌ای از گزینه‌های تصمیم‌گیری هستند که به نفع کل سیستم بوده و بیش از بودجه در دسترس به‌عنوان عامل محدود کننده، نباشد که این عامل محدود کننده در مطالعه حاضر، میزان زمین در دسترس برای کشت هر کدام از محصولات در اراضی دیم در نظر گرفته شده است. مشکلات ترکیبی برای انتخاب گزینه‌های بهینه از مجموعه گزینه‌ها، قابل مقایسه با یک کوله‌پشتی است که با مواردی که هرکدام دارای ارزش خاص است با توجه به محدود بودن حجم کوله‌پشتی پر شود (۱۷).

روش‌های حل مسئله مورد استفاده در MCAT عبارت‌اند: الف) جستجوی محلی، الگوریتم تپه‌نوردی (hill climbing) الگوریتم تپه‌نوردی یک فن بهینه‌سازی متعلق به خانواده الگوریتم‌های جستجوی محلی است. در واقع، تپه‌نوردی الگوریتمی است که برای یافتن بهترین پاسخ یک مسئله یا برای پیدا کردن پاسخی از مسئله که به‌اندازه کافی مناسب و بهینه باشد، استفاده می‌شود. یک تکنیک تکرار شونده که با یک راه حل دلخواه شروع به‌کار کرده و سپس تلاش می‌کند تا با تغییر روی یک عنصر از راه حل، به پاسخ بهتری دست پیدا

جدول ۱. توابع مورد استفاده در بهینه‌سازی محصولات کشاورزی دیم شهرستان گنبد کاووس

معیارها	توابع تبدیل	
تولید شغل	Linear $U_j^- = \left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c (1-g_{ij})^c\right]^{1/c}$	امتیاز محصولات با ایجاد اشتغال به‌صورت خطی افزایش می‌یابد (مقادیر بالاتر معیار، مطلوب‌تر است).
سود / هزینه	Linear $U_j^- = \left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c (1-g_{ij})^c\right]^{1/c}$	امتیاز محصولات با افزایش میزان سود به هزینه بیشتر می‌شود به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. (مقادیر بالاتر معیار، مطلوب‌تر است).
میزان تولید ماده خشک	Linear $U_j^- = \left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c (1-g_{ij})^c\right]^{1/c}$	امتیاز محصولات با افزایش میزان سود به هزینه به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. (مقادیر بالاتر معیار، مطلوب‌تر است).
نیاز به ماشین‌آلات	Linear $U_j^- = \left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c (1-g_{ij})^c\right]^{1/c}$	امتیاز محصولات با افزایش نیاز به ماشین‌آلات به‌صورت خطی کاهش می‌یابد. (مقادیر پایین‌تر معیار، مطلوب‌تر است).
ضریب حمایت سیاستی	Linear $U_j^- = \left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c (1-g_{ij})^c\right]^{1/c}$	امتیاز محصولات با افزایش میزان ضریب حمایت سیاستی به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. (مقادیر بالاتر معیار، مطلوب‌تر است).
سهم در سبد خانوار	Linear $U_j^- = \left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c (1-g_{ij})^c\right]^{1/c}$	امتیاز محصولات با افزایش سهم آنها در سبد خانوار به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. (مقادیر بالاتر معیار، مطلوب‌تر است).
نسبت عملکرد	Linear $U_j^- = \left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c (1-g_{ij})^c\right]^{1/c}$	امتیاز محصولات با افزایش نسبت عملکرد به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. (مقادیر بالاتر معیار، مطلوب‌تر است).
میزان مصرف کود	Concave $U_j^- = \left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c (\sqrt{1-g_{ij}^2})\right]^{1/c}$	میزان رشد محصولات کشاورزی با افزایش مقدار کود به‌صورت غیر خطی و مقعر تغییر می‌کند. (مقادیر کمتر معیار، مطلوب‌تر است).
میزان مصرف سموم	Convex $U_j^- = \left[\sum_{i=1}^{M} W_i^c (1-\sqrt{1-(g_{ij}-1)^2})\right]^{1/c}$	میزان رشد محصولات کشاورزی با افزایش مقدار آب به‌صورت غیر خطی و محدب تغییر می‌کند. (مقادیر کمتر معیار، مطلوب‌تر است).

کند. اگر این تغییر منجر به ایجاد یک راه حل بهتر شود، تغییر دیگری روی این راه حل جدید انجام خواهد گرفت. این روال تا زمانی که بهبود بیشتری در راه حل میسر نباشد ادامه می‌یابد. این الگوریتم به‌صورت حلقه‌ای است که در جهت افزایش مقدار حرکت می‌کند (به طرف بالای تپه). وقتی به "قله‌ای" رسید که هیچ همسایه‌ای از آن بلندتر نیست، خاتمه می‌یابد. به‌منظور آشکار کردن تناقض بین الویت‌های اقتصادی- اجتماعی و منافع محیط زیستی و نیز برای اتخاذ تصمیمات مدیریتی و عملی، سناریوهایی به‌منظور بهینه‌سازی محصولات طراحی شد (۱۳).

ب) جستجوی ممنوعه (Tabu search (TS
الگوریتم جستجوی ممنوعه یک الگوریتم بهینه‌سازی فرا ابتکاری است که برای اولین بار در سال ۱۹۸۶ توسط گلوور معرفی شد. برای رسیدن به جواب بهینه در یک مسئله بهینه‌سازی، الگوریتم جستجوی ممنوعه ابتدا از یک جواب اولیه شروع به حرکت می‌کند (۱۴). سپس، الگوریتم بهترین جواب همسایه را از میان همسایه‌های جواب فعلی انتخاب می‌کند. درصورتی که این جواب در فهرست ممنوعه قرار نداشته باشد، الگوریتم به جواب همسایه حرکت می‌کند، در غیر این صورت الگوریتم معیاری به نام معیار تنفس را چک خواهد کرد. بر اساس معیار تنفس اگر جواب همسایه از بهترین جواب یافت شده تا کنون بهتر باشد، الگوریتم به آن حرکت خواهد کرد، حتی اگر آن جواب در فهرست ممنوعه باشد. پس از حرکت الگوریتم به جواب همسایه، فهرست ممنوعه به‌روزرسانی می‌شود. به این معنا که حرکت قبل که به‌وسیله آن به جواب همسایه حرکت کردیم در فهرست ممنوعه قرار داده می‌شود تا از بازگشت مجدد الگوریتم به آن جواب و ایجاد چرخه جلوگیری شود. در واقع فهرست ممنوعه ابزاری در الگوریتم جستجوی ممنوعه است که توسط آن از قرار گرفتن الگوریتم در بهینه محلی جلوگیری می‌شود. پس از قرار دادن حرکت قبلی در فهرست ممنوعه، تعدادی از حرکت‌هایی که قبلاً در فهرست ممنوعه قرار گرفته بودند از فهرست خارج می‌شوند. حرکت از جواب فعلی به جواب همسایه تا جایی ادامه می‌یابد که شرط خاتمه دیده شود. شرط‌های خاتمه متفاوتی می‌توان برای الگوریتم در نظر گرفت. به‌طور مثال محدودیت تعداد حرکت به جواب همسایه می‌تواند یک شرط خاتمه باشد (۲۵).

ج) راهبرد شاخه و حد یا انشعاب و حد (Branch & Bound)
روش انشعاب و حد یک الگو طراحی الگوریتم برای مسائل بهینه‌سازی است. این روش در یک جستجوی فضای حالات جواب‌های احتمالی مسئله را پیمایش می‌کند (۳۴). در اینجا مجموعه جواب‌های احتمالی به‌صورت یک درخت در نظر گرفته می‌شود که ریشه آن متناظر با همه جواب‌ها و انشعابات آن زیرمجموعه‌هایی از جواب‌های احتمالی‌اند. قبل از پیمایش مجموعه جواب‌های یک زیر شاخه، الگوریتم مجموعه جواب‌های شاخه را با کران پایین و بالای جواب مسئله بهینه‌سازی به‌طورکلی چک می‌کند و در صورتی که زیرشاخه توانایی تولید جواب بهینه‌تر برای مسئله را نداشته باشد، از پیمایش کل زیرشاخه صرف‌نظر می‌شود. برای حل مسائل بهینه‌سازی که الگوریتمی با زمان چند جمله‌ای برای آنها پیدا نشده است، از الگوریتم‌هایی با پیچیدگی نمایی که زمان اجرای پایینی دارند استفاده می‌شود، روش انشعاب و حد در این نوع مسائل، گزینه مناسبی است. الگوریتم شاخه و حد، در هر گره عددی (حدی) را محاسبه می‌کند. این عدد، حدی برای مقدار حل است که با گسترش یافتن در ورای گره قابل حصول است. اگر آن حد بهتر از مقدار بهترین حلی که تاکنون یافته شده، نباشد، گره غیر امیدبخش و در غیر این صورت، امیدبخش است، چرا که مقدار بهینه در برخی مسائل، مقداری کمینه و در برخی دیگر مقداری بیشینه است (۱۴ و ۲۵).

وزن دهی سناریوها توسط تیمی از متخصصان محیط زیستی و کشاورزی و با استفاده از روش (AHP) انجام شد. بدین‌منظور از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. وزن‌دهی بین معیارها را به چند صورت مقایسه زوجی عددی، گرافیکی و محاوره‌ای و مقایسه کلی در نرم‌افزار می‌توان عملی کرد. در این پژوهش از روش مقایسه زوجی عددی استفاده شد. در حین مقایسه زوجی، تجزیه و تحلیل سازگاری به‌وسیله نرم‌افزار صورت می‌پذیرد. این معیار همان‌گونه که قبلاً گفته شد باید از ۰/۱ کمتر باشد. برای تعیین وزن معیارها چندین روش وجود دارد که معمول‌ترین آنها مقایسه دودویی است. در این روش معیارها دو به دو باهم مقایسه می‌شوند و درجه هر معیار نسبت به دیگری مقایسه می‌شود (۲۱ و ۲۹).

نتایج

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد در بخش اول این مطالعه میزان واقعی مصرف کود وسموم شیمیایی برای محصولات گندم، جو، کلزا و سویا در اراضی دیم شهرستان گنبد کاووس از طریق

جدول ۲. میزان مصرف کود و سموم شیمیایی

کود شیمیایی	کلزا	سویا	جو	گندم
	نرخ مصرف کود (٪)			
نیتراته (کیلوگرم بر هکتار)				
کمتر از ۱۰۰	۸/۱۰	۹/۵۵	۵/۲۶	۸/۵
۱۰۰-۲۰۰	۹/۵۵	۳/۳۳	۳/۵۳	۳/۲۱
۲۰۰-۳۰۰	۷/۳۱	۸/۱۰	۲/۲۰	۸/۶۵
بیش از ۳۰۰	۶/۱	-	-	۱/۷
فسفاته (کیلوگرم بر هکتار)	۹/۳۰	۳/۳۳	۹/۵۵	۸/۱۰
کمتر از۵۰	۳/۵۳	۲/۳۹	۷/۳۱	۵۴
۵۰-۱۰۰	۷/۱۰	۹/۱۵	۸/۱۰	۲/۲۷
۱۰۰-۱۵۰	۱/۵	۶/۱۱	۶/۱	۸
بیش از ۱۵۰				

جدول ۳. تقسیم‌بندی سموم بر اساس سمیت و مقدار مصرف

عامل مورد بررسی	حشره‌کش				علف‌کش				قارچ‌کش			
معیار ارزیابی	بدترین حالت		بهترین حالت		بدترین حالت		بهترین حالت		بدترین حالت		بهترین حالت	
نوع محصول	مقدار	LD۵۰	مقدار	LD۵۰	مقدار	LD۵۰	مقدار	LD۵۰	مقدار	LD۵۰	مقدار	LD۵۰
گندم	۱/۲	II	۱	III	۲/۵	II	۲	III	۱	II	۱	III
جو	۱	Ib	۱	II	۲	II	۲	III	۱	II	۱	III
سویا	۱/۵	Ib	۲	II	۲/۵	III	۲/۵	UH	–	III	–	III
کلزا	۱	II	۱	II	۱	III	۲/۵	UH	۱	III	۱	UH

LD۵۰: شاخص میزان سمیت یک ماده سمی برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن

مصاحبه حضوری و چهره به چهره با کشاورزان منطقه به‌دست آمد که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

با توجه به تنوع بالای مصرف سموم در منطقه مورد مطالعه، میزان سموم مصرفی، بر اساس میزان سمیت تقسیم‌بندی شده و سپس در مدل بهینه‌سازی وارد شدند که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است. برای تعیین میزان سمیت سموم کشاورزی از شاخص LD۵۰ استفاده می‌شود. LD۵۰، شاخصی است که میزان سمیت یک ماده سمی را نشان می‌دهد و نمایانگر حداقل میزان سم مورد نیاز برای کشتن ۵۰ درصد جمعیت حیوان استاندارد آزمایشگاهی است. واحد سنجش این شاخص mg/kg body weight است. سموم را از نظر میزان سمیت بر اساس توصیه سازمان بهداشت جهانی (WHO) گروه‌بندی می‌کنند (۳۳) که در جدول (۴) ارائه شده است.

سایر داده‌های مورد استفاده برای بهینه‌سازی، اولویت‌بندی و تخصیص اراضی دیم منطقه مورد مطالعه علاوه بر میزان مصرف کود و سموم شیمیایی در جدول (۵) ارائه شده است.

به‌منظور آشکار کردن تناقض بین الویت‌های اقتصادی-اجتماعی و منافع محیط زیستی و نیز برای اتخاذ تصمیمات

جدول ۴. گروه‌بندی سموم بر اساس از شاخص LD۵۰

WHO Class		برای رات‌ها LD۵۰ (mg/kg body weight)	
		Oral	Dermal
سموم بی‌نهایت خطرناک	Ia	۵<	۵۰<
سموم خیلی خطرناک	Ib	۵-۵۰	۵۰-۲۰۰
سموم نسبتاً خطرناک	II	۵۰-۲۰۰۰	۲۰۰-۲۰۰۰
سموم کمی خطرناک	III	بیشتر از ۲۰۰۰	بیشتر از ۲۰۰۰
سموم بی‌خطر	UH	۵۰۰۰ یا بیشتر	۵۰۰۰ یا بیشتر

جدول ۵. ماتریس مقایسات محصولات زراعی برای توسعه کشت‌وکار دیم

معیارهای ارزیابی / نوع محصول	نسبت عملکرد	سهم در سبد خانوار	ضریب حمایت سیاستی	نیاز به ماشین‌آلات	میزان تولید ماده خشک	سود به هزینه	تولید شغل
گندم	۲/۰۶	۷۰۰۰	۱/۳۸۷	۲۷۸۸/۸۸	۰/۲۶۴	۰/۳۴۶	۲۱۱/۴۸
جو	۱/۶۶	۵۴۵۵	۲/۴۷۸	۹۱۳/۹۱۲	۰/۲۱۹	۰/۳۶۳	۱۳۰/۵۶
سویا	۰/۷۷	۳۰۰۰	۰/۹۵۴	۷۷۰/۳۲	۰/۰۳۷	۰/۰۹۵	۳۰۵/۰۴
کلزا	۱/۰۱	۲۴۶۲/۵	۰/۵۵۲	۱۰۹۸/۴۸	۰/۲۶۷	۰/۶۷۱	۳۲۶/۷۲

جدول ۶. وزن‌دهی سناریو ها با استفاده از روش (AHP)

معیار	سموم	کود	نسبت عملکرد	سهم در سبد خانوار	ضریب حمایت سیاستی	نیاز به ماشین‌آلات	میزان تولید ماده خشک	سود به هزینه	تولید شغل
سناریو اقتصادی- اجتماعی	۶/۸	۴/۸	۶/۳	۱۰/۵	۷	۶/۱۰	۱۹/۵	۱۹/۵	۱۹/۵
سناریو محیط زیستی	۲۲/۱	۱۷/۸	۷/۱	۸/۸	۶/۳	۷/۲	۱۰/۶	۱۰/۶	۹/۵

مدیریتی و عملی، دو سناریوی محیط زیستی و اقتصادی- اجتماعی به‌منظور بهینه‌سازی محصولات طراحی شد. وزن دهی سناریوها توسط تیمی از متخصصان محیط زیستی و کشاورزی و با استفاده از روش (AHP) انجام شد که نتایج آن در جدول (۶) ارائه شده است. همچنین نرخ ناسازگاری برای هر دو سناریو از ۰/۱ کمتر بود که نشان‌دهنده قابل قبول بودن وزن هاست.

نتایج اولویت‌بندی، بهینه‌سازی و تخصیص اراضی دیم شهرستان گنبد کاووس برای محصولات مورد مطالعه در جدول (۷ و ۸) ارائه شده است. شکل (۳) نیز مقایسه‌ای آماری بین دو سناریوی محیط زیستی و اقتصادی اجتماعی با توجه به نسبت تخصیص اراضی برای هر یک از محصولات مورد مطالعه است.

بحث

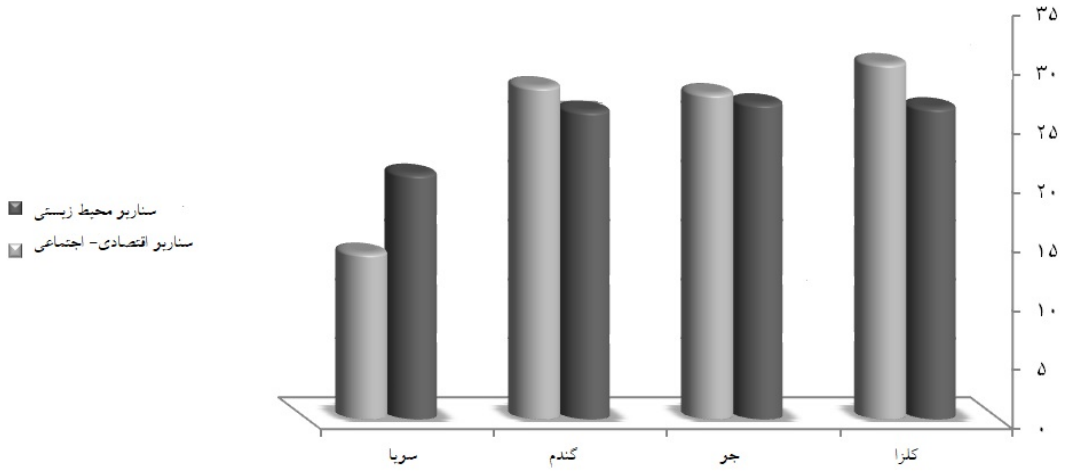
مسئله بهینه‌سازی چند هدفه برگرفته از روش‌های تصمیم‌گیری در دنیای واقعی است که شخص تصمیم‌گیرنده با مجموعه‌ای از اهداف و معیارهای متضاد و متعارض روبه‌رو است. در این گونه از مسائل برخلاف مسائل بهینه‌سازی تک‌هدفه و به‌خاطر وجود چند هدف متعارض به‌جای تنها یک جواب، مجموعه‌ای از جواب‌ها به‌ترتیب اولویت حاصل می‌شود. هدف اصلی این

جدول ۷. اولویت‌بندی، بهینه‌سازی و تخصیص اراضی دیم شهرستان گنبد کاووس (سناریو محیط زیستی)

محصولات	هزینه (میزان زمین در دسترس: هکتار)	نسبت تخصیص اراضی	رتبه	Funded	سود
گندم	۹۲۱۷۲/۷۳	۲۶/۱۱	۳	بله	۴۸
جو	۲۴۸۰۸	۲۶/۷۳	۱	بله	۴۹/۱
سویا	۲۳۳۵	۲۰/۷۷	۴	بله	۳۸/۲
کلزا	۴۴۲۴	۲۶/۳۹	۲	بله	۴۸/۵

جدول ۸. اولویت‌بندی، بهینه‌سازی و تخصیص اراضی دیم گنبد کاووس (سناریو اقتصادی- اجتماعی)

محصولات	هزینه (میزان زمین در دسترس: هکتار)	نسبت تخصیص اراضی	رتبه	Funded	سود
گندم	۹۲۱۷۲/۷۳	۲۸/۱۸	۲	بله	۴۱
جو	۲۴۸۰۸	۲۷/۵۹	۳	بله	۴۰/۲
سویا	۲۳۳۵	۱۴/۰۸	۴	بله	۲۰/۵
کلزا	۴۴۲۴	۳۰/۱۴	۱	بله	۴۳/۹



شکل ۳. مقایسه دو سناریوی محیط زیستی و اقتصادی اجتماعی با توجه به نسبت تخصیص اراضی

مطالعه الویت‌بندی، بهینه‌سازی و تخصیص اراضی دیم شهرستان گنبدکاووس، استان گلستان برای محصولات راهبردی گندم، جو، کلزا و سویا در دو سناریوی اقتصادی– اجتماعی و محیط زیستی است. در ضمن انجام این مطالعه به‌دلیل در دسترس نبودن اطلاعات و داده‌های واقعی میزان مصرف کود و سموم شیمیایی در مزارع منطقه مورد مطالعه، با استفاده از مصاحبه حضوری و چهره به چهره با کشاورزان این داده‌ها جمع‌آوری شد. نتایج حاکی از بالا بودن مقدار مصرف کود و سموم در منطقه مورد مطالعه بود. همچنین مصرف برخی از سموم نسبتاً خطرناک و خیلی خطرناک نیز در منطقه مشاهده شد. تحقیقات پژوهشگران علوم پزشکی نشان می‌دهد این آفت‌کش‌ها علاوه‌بر اینکه میکروارگانیسم‌های خاک را از بین می‌برند، مقداری از آن روی محصولات غذایی باقی می‌ماند (۳۴). استفاده بیش از حد آفت‌کش‌ها و سموم کشاورزی علاوه

بر اینکه میکروارگانیسم‌های خاک را از بین می‌برد، تأثیرات جزئی و منفی در خود گیاه برجای می‌گذارد (۲۸). که باعث کاهش عملکرد و کندی رشد محصولات می‌شود، که غالباً این ترکیبات شیمیایی به‌واسطه تغذیه حیوان وارد بافت چربی و به تبع آن وارد زنجیره غذایی انسان می‌شود، بنابراین استفاده بهینه از کودها و سموم کشاورزی در کاهش اثرات مخرب آنها ضرورت دارد (۳). از این‌رو به‌منظور کاهش میزان مصرف کود و سموم شیمیایی و در عین بالا بردن سود و بازده اقتصادی اجتماعی دو سناریوی محیط زیستی و اقتصادی- اجتماعی به‌منظور بهینه‌سازی محصولات طراحی شد که ضمن آشکار کردن تناقض بین الویت‌های اقتصادی- اجتماعی و منافع محیط زیستی بتوان تصمیمات مدیریتی و عملی مناسب و راهبردی را نیز اتخاذ کرد. نتایج بهینه‌سازی محصولات دیمی منطقه نشان داد که کشت سویا در هر دو سناریو محیط زیستی و اقتصادی اجتماعی پایین‌ترین سود و رتبه را در بین محصولات مورد مطالعه داشت. همچنین نسبت تخصیص اراضی که بیانگر میزان سود هر محصول به سود کل و تجمعی است، نیز برای سویا کمترین مقدار است. با وجود تأکید مدیران و سیاست‌های جهاد کشاورزی مبنی بر توسعه کشت سویا، نتایج مطالعه نشان‌دهنده بازدهی اندک این محصول در منطقه مورد مطالعه است. مشکلات بازرگانی سویا، نبود ثبات قیمت، کیفیت پایین بذر و دانه، کمبود ادوات زراعی خاص مراحل کاشت، وجین، سم پاشی از جمله مشکلات کشت سویا و مقبولیت پایین آن در منطقه مورد مطالعه است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد در سناریوی محیط زیستی با تفاوت اندکی در نسبت تخصیص اراضی و میزان سود به‌ترتیب جو، کلزا و سویا اولویت کشت در منطقه را دارند. این تفاوت اندک نشان‌دهنده شرایط بهینه برای کشت این محصولات است و اختلاف سود آنها در سناریو محیط زیستی، مربوط به میزان مصرف کود و سموم در هر یک از محصولات یاد شده است. در سناریوی اقتصادی و اجتماعی نیز به‌ترتیب کلزا، گندم و جو بالاترین نسبت تخصیص اراضی و میزان سود را دارند. دانه‌های روغنی بعد از غلات به‌عنوان دومین منبع تولید انرژی در تغذیه انسان مطرح هستند. از طرفی کنجاله حاصل از فرآیند صنعتی آنها نیز به لحاظ سرشار بودن از پروتئین یکی از اقلام مهم تغذیه دام، طیور و آبزیان به‌شمار می‌رود. از آنجایی که قسمت عمده روغن مورد نیاز کشور از خارج وارد شده و هر ساله مقدار قابل توجهی از بودجه کشور صرف خرید روغن می‌شود، افزایش سطح زیر کشت و همچنین افزایش عملکرد گیاهان روغنی به‌عنوان یکی از اهداف عمده دست‌اندرکاران وزارت جهاد کشاورزی، کارشناسان و پژوهشگران در نظر گرفته شده است. پتانسیل عملکرد بالای کلزا این امکان را به کشاورز می‌دهد که بتواند راندمان اقتصادی بالایی از زمین خود داشته باشد (۱۲). سرمایه‌گذاری در بخش صنایع تبدیلی و پس از برداشت این محصول از جمله احداث کارخانه‌های روغن‌کشی، می‌تواند نقش زراعت این محصول را در اقتصاد استان افزایش داده و کشت آن را از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر کند. استان گلستان در تولید گندم به دفعات رتبه‌های دوم تا چهارم کشور را به خود اختصاص داده و از مهم‌ترین مناطق تولید جو نیز محسوب می‌شود (۲۴) با توجه به ضرورت توسعه بخش کشاورزی و اقتصاد ملی، تولید محصولاتی همچون گندم و اهمیت آن به‌دلیل تأمین نیاز داخل و نیز صادرات آن توجه به کشت بهینه آن، در منطقه مورد مطالعه ضروری به‌نظر می‌رسد.

رویکرد ارائه شده در این مطالعه با ترکیب جنبه‌های مختلف محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی ترکیب بهینه‌ای از محصولات کشاورزی دیمی در شرق استان گلستان را ارائه می‌دهد. این رویکرد با استفاده از ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری MCAT که چارچوب پیاده‌سازی آن بر اساس روش تجزیه و تحلیل چند معیاره است، برنامه‌ریزان را قادر به طراحی سیستم کشت بهینه و مدیریت صحیح در کوددهی و میزان مصرف آب می‌کند. این یافته‌ها با نتایج لابرت و همکاران و همکاران (۱۸)، شاشا و همکاران (۳۳)، بورناریس و همکاران (۶) در استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل چند معیاره مطابقت دارد. کاربرد نتایج به‌دست آمده از این مطالعه در منطقه مورد مطالعه با پایش دستاوردهای آن برای

بهبود شرایط کشاورزی و محیط زیستی، توسعه و انجام رویکرد ارائه شده در این مطالعه برای کل استان و کشور برای کمک به مدیران و برنامه‌ریزان در سیاست‌گذاری و طراحی استراتژی‌های بهینه مکانی، ثبات قیمت، خرید تضمینی و توسعه کارخانجات تبدیلی دانه‌های روغنی چون کلزا به‌منظور ترغیب کشاورزان به کشت آن در منطقه می‌تواند در توسعه و دستیابی به توسعه کشاورزی پایدار مفید واقع شود.

نتیجه‌گیری

تصمیم‌گیری فرآیند یافتن بهترین موقعیت در بین گزینه‌های موجود است. تقریباً در اکثر مسائل تصمیم‌گیری به‌علت کثرت معیارها، تصمیم‌گیرنده دچار مشکل می‌شود. از این‌رو برای اکثر مسائل، تصمیم‌گیرنده می‌خواهد به بیش از یک هدف در راستای انتخاب نحوه اجرای فعالیت‌ها، دست یابد. بهبود کارایی تولید در بخش کشاورزی، استفاده مؤثر و بهینه از منابع آب، کاهش استفاده از سموم و کودهای شیمیایی، بهبود درآمد کشاورزان و حفاظت از منابع‌طبیعی و محیط زیست از اهداف اصلی تخصیص، رتبه بندی و بهینه‌سازی محصولات کشاورزی هستند. برای بهینه‌سازی محصولات کشاورزی مدیریت مؤثر به‌منظور دستیابی به بالاترین سود و کارایی محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی با حفظ خدمات اجتماعی در بالاترین سطح باید در نظر گرفته شود.

مطالعه حاضر میزان دقیق و صحیح مصرف کود و سموم شیمیایی را در منطقه مورد مطالعه به‌دست آورده و در عین حال رویکردی را نیز برای تجزیه و تحلیل تأثیر مهم‌ترین متغیرها بر تولید محصولات کشاورزی شهرستان گنبدکاووس، مانند میزان آب مورد نیاز برای کاشت هر محصول در یک هکتار زمین در منطقه مورد مطالعه، ردپای آب و میزان کل آب مورد نیاز برای تولید یک کیلوگرم محصول، میزان مصرف کودهای شیمیایی، میزان مصرف سموم و درجه سمیت آنها، نسبت سود هر محصول به هزینه‌های مصرفی تولید آن، وزن خالص ماده خشک در ۱۰۰ گرم از هر محصول، میزان نیروی ماشین‌آلات مورد نیاز برای کاشت هر محصول در یک هکتار زمین، نسبت عملکرد هر محصول (تن در هکتار) در استان به میزان عملکرد همان محصول در کشور، تولید شغل و میزان نیروی کار مورد نیاز برای کاشت هر محصول در یک هکتار زمین، سود به هزینه کشاورز، سهم در سبد خانوار و میزان مصرف هر محصول که در سبد غذایی خانوارهای استان قرار می‌گیرد و ضریب حمایت سیاسی که نشان‌دهنده تأثیر سیاست‌های دولت ایران بر تولیدات کشاورزی است، با استفاده از ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری که چارچوب پیاده‌سازی آن بر اساس روش تجزیه و تحلیل چند معیاره است، ارائه می‌دهد. با توجه به ماهیت پژوهش حاضر و وجود شاخص‌ها و گزینه‌های متعدد، مدل‌های بهینه‌سازی مورد توجه قرار گرفت و در همین راستا نرم‌افزار MCAT با قابلیت بهینه‌سازی و توجه همزمان به شاخص‌های محیط زیستی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی به‌طور موفقیت‌آمیز استفاده شد.

نتایج حاصل نشان داد که MCAT با ترکیب الگوریتم‌های بهینه‌سازی و تجزیه و تحلیل چند معیاره با توجه به محدودیت‌های موجود همچون زمین‌های در دسترس ابزاری ارزشمند و مفید را در تصمیم‌گیری پیچیده همچون مسائل محیط زیستی فراهم می‌سازد. رویکرد ارائه شده در این مطالعه با ترکیب جنبه‌های مختلف محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی ترکیب بهینه‌ای از محصولات کشاورزی را در شرق استان گلستان را ارائه می‌دهد. از این روی پیشنهادات ذیل در چارچوب نتایج به‌دست آمده از این رساله می‌تواند مفید واقع شود

- کاربرد نتایج به‌دست آمده از این رساله در منطقه مورد مطالعه با پایش دستاوردهای آن به‌منظور بهبود شرایط کشاورزی و محیط زیستی
- توسعه و انجام رویکرد ارائه شده در این رساله برای کل استان و کشور به‌منظور کمک به مدیران و برنامه‌ریزان در سیاست‌گذاری و طراحی استراتژی‌های بهینه مکانی
- افزایش آگاهی کشاورزان با فرهنگ‌سازی، کلاس‌های ترویجی و استفاده از رسانه‌های جمعی
- توسعه کشاورزی مکانیزه

منابع مورد استفاده

1. Abyar, N., M. Razaghi and M. Asgari. 2015. Determination the comparative advantage of wheat, barley and rice
2. production in Golestan province. *Journal Research Achievment for Improvement of Crop Proudaction* 1:1-12
3. Allahyari, M. S., M. Chizari and M. Homaee. 2008. Perceptions of Iranian agricultural extension professionals toward sustainable agriculture concepts. *Journal of Agriculture and Social Sciences* 4: 101-106.
4. Aktar, M. W., D. Sengupta and A. Chowdhury. 2009. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology* 2: 1–12.
5. Benli, B. and S. Kodal. 2003. A non-linear model for farmoptimization with adequate and limited water supplies: application to the South-east Anatolian Project (GAP) Region. *Agricultural Water Management* 62: 187-203.
6. Bournaris, T. H. and J. Papathanasiou. 2012. A DSS for planning the agricultural production. *International Journal of Business Innovation and Research* 6(1): 117-134.
7. Bournaris, TH., J. Papathanasiou, B. Manos, N. Kazakis and K. Voudouris. 2015. Support of irrigation water use and eco-friendly decision process in agricultural production planning. *Operational Research* 15(2): 289–306.
8. Cochran, W. G. 1977. Sampling Techniques. John Wiley & Sons, New York.
9. Cronbach, L. J. 1951. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika* 16: 297-334.
10. Edamwen, M.O. 2001. Measuring regional competitiveness in oilseeds production and processing in Nigeria. *Agricultural Economics Journal* 26: 281-294.
11. Foley, J. A., N. Ramankutty, K. A. Brauman, E. S. Cassidy, J. S. Gerber, M. Johnston, N. D. Mueller, C. O'Connell, D. K. Ray, P. C. West, C. Balzer, E. M. Bennett, S. R. Carpenter, J. Hill, C. Monfreda, S. Polasky, J. Rockström, J. Sheehan, S. Siebert, D. Tilman and D. P. M. Zaks. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337-342.
12. Fatahi, C. 2009. Extra-heuristic algorithms. Hamedan. Bu Ali Sina University Press. Iran.
13. Faraji, A., S. Khorrmali, M. Ghazaeian, A. Kiani, M. Younes Abadi, M. A. Aghajani, H. R. Sadeghnezhad, M. Bagheri, N. Bagherani, E. Hezarjaribi, A. R. Savarinejhad and L. Habibian. 2017. Rapeseed Agriculture in Golestan Province. Technical Journal. Agricultural Research and Education Organization Publications. 1-28.
14. Gebrezgabher, S. A., M. Meuwissen and A. Oude Lansink. 2014. A multiple criteria decision-making approach to manure management systems in the Netherlands. *European Journal of Operational Research* 232: 643-653.
15. Hafeez, K., Y. B. Zhang and N. Malak. 2002. Determining key capabilities of a firm using analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics* 76: 39–51.
16. Iran Statistics Organization. 2011. Statistical Yearbook of Golestan Province, 316 p.
17. Kazemi, H. Z., B. Tahmasebi Sarvestani, Sh. Kamkar Shataei and S. Sadeghi. 2013. Agro-Ecological Zoning of Golestan Province Lands for Soybean Cultivation Using Geographical in Formation System (GIS). *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production* 4(23): 21-40
18. Laborte, A. G., M. K. V. Ittersum and M. M. V. Berg. 2007. Multi-scale analysis of agricultural development: A modeling approach for Ilocos Norte, Philippines. *Agricultural Systems* 94: 862-873.
19. Ladha J. K., H. Pathak, T. J. Krupnik, J. Six and CH. V. Kessel. 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Advances in Agronomy* 87: 85–156.
20. Lawniczak, A. E., J. Zbierska, B. Nowak, K. Achtenberg, A. Grześkowiak and K. Kanas. 2016. Impact of agriculture and land use on nitrate contamination in groundwater and running waters in central-west Poland. *Environmental Monitoring and Assessment* 188: 172-182
21. Lord, I. and S. G. Anthony. 2002. Agricultural nitrogen balance and water quality in the UK. *Soil Use and Management* 18(4): 363-369.
22. Marinoni, O., A. Higgins., S. Hajkowicz., K.Collins. 2009. The multiple criteria analysis tool (MCAT): A new software tool to support environmental investment decision making. *Environmental Modelling and Software* 24(2):153-164
23. Marinoni, O. 2013. Development of a proxy for technical efficiency for specialised grain farmers. *Computers and Electronics in Agriculture* 96: 209-216.
24. Omidvar, M., T. Honar, M. R. Nikoo and A. R. Sepaskhah. 2016. Developing a Fuzzy Crop Pattern and Water Allocation Optimization Model Based on Cooperative Game Theory: A Case Study, Ordibehesht Canal at the Doroodzan Irrigation Network, Northwest of Fars Province in Iran. *Journal of Water and Soil Science* 20(76): 1-13.
25. Organization of Agricultural Jihad of Golestan Province. 2015. Bureau of Statistics and Evaluation.
26. Pal, B. B. and B. N. Moitra. 2003. Fuzzy goal programming approach to long term and allocation planning problem in agriculture system: A case study. *In:* Proceeding of the 5th International Conference on Advances in Pattern Recognition. Allied Publishers Pvt. Ltd.
27. Perrin, A. S., A. Probst and J. L. Probst. 2008. Impact of nitrogen fertilizers on carbon-ate dissolution in small

agricultural catchments: implications for weathering CO2 uptake at regional and global scales. *Geochimica Cosmochimica Acta* 72: 3105–3123.
28. Rezaei-Moghaddam, K. and E. Karami. 2008. A multiple criteria evaluation of sustainable agricultural development models using AHP. *Environment, Development and Sustainability* 10: 407–426.
29. Schroeder, J. J., D. Scholefield, F. Cabral and G. Hofman. 2004. The effect of nutrient losses from agriculture on ground and surface water quality: the position of science in developing indicators for regulation. *Environmental Science and Policy* 7: 15-23.
30. 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. *Agricultural Water Management* 50: 1-8.
31. Sha-sha, L., L. Yan-sui, L. Hua-lou and G. Xing-liang. 2013. Agricultural production structure optimization: acase study of major grain producingareas, China. *Journal of Integrative Agriculture* 12: 184-197.
32. Surgan, M., M. Condom and C. Cox. 2010. Pesticide risk indicators: unidentifiedinert ingredients compromise their integrity and utility. *Environmental Management* 45: 834–841.
33. Salman Mahini, A. R. 2015. Studies of Land use Planning in Golestan Province Preparation, Golestan Province Management and Planning Organization, 369 p.
34. WHO. 2009. The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification 2009. Ipcs. International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, 1211 Geneva 27, Switzerland.
35. Zhang, J. L., Y. P. Li, C. X. Wang and G. H. Huang. 2015. An inexact simulation-based stochastic optimization method for identifying effluent trading strategies of agricultural nonpoint sources. *Agricultural Water Management* 152: 72-90.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 2, Summer 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Application of MCAT in Optimizing and Prioritizing Dryland Allocation Based on the Amount of Chemical Fertilizer and Pesticides (A Case Study: Gonbadkavoos County)

B. Raheli Namin[1], S. Mortazavi[1*] and A. Salman Mahini[2]

(Received: January 24-2018 ; Accepted: September 2-2018)

Abstract

Agriculture production with high quality and adequate income for farmers and the least harmful effects in environment are the main objectives of agriculture optimization. The main objective of this study was ranking, optimization and land allocation of Gonbadkavoos's Drylands for strategic products such as wheat, barley, oilseed rape and soybean under environment and socio-economic scenarios. Because the available information on fertilizer and pesticide consumption was not sufficient and reliable, this data was collected through face-to-face interviews with farmers. The results showed that some slightly and moderately hazardous pesticides were consumed in study area. In this study, the optimized combination of agriculture products was applied by using the modeling approach and considering environmental and socio-economic aspects in Gonbadkavoos County. This approach uses MCAT software, which is based on multi-criteria techniques and metaheuristic algorithms. The results of the environmental scenario show ed that barley, oilseed rape and soybean, with little difference, had the highest benefit-to-cost ratio and profitability, respectively. The slight difference could be related to the use of fertilizers and pesticides. In the socio-economic scenario, oilseed rape, wheat and barley had the highest benefit-to-cost ratio and land allocation, respectively. The represented approach using the decision support system (MCAT) can help planners to design optimal cropping systems and aid good management of fertilizers and water consumption.

Keywords: Optimization, Rain-fed crops, Fertilizer and pesticide, MCAT, Gonbadkavoos

1. Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environmental Science, Malayer University, Malayer, Iran.
2. Department of Environment, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: mortazavi.s@gmail.com