محیط‌شناسی، دورهٔ ۴۲، شمارهٔ ٤، زمستان ۱۳۹۵، صفحهٔ ۶۸۶-۶۶۹

بهینه‌سازی تخصیص مساحت اراضی استان گلستان به کاشت محصولات کشاورزی با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مصالحه‌ای

فضل‌الله احمدی میرقائد[1]*، عبدالرسول سلمان ماهینی[2]، الهام صدیقی[3]، مصطفی قلی‌پور[4]

۱. دانشجوی دکتری آمایش محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. دانشجوی دکتری آمایش محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
٤. دانشجوی دکتری آمایش محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹٤/۳/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۸

چکیده

مدیریت منابع طبیعی و افزایش سود اقتصادی در بخش کشاورزی مستلزم برنامه‌ریزی منطقی است. با توجه به محدودیت آب و اراضی در استان گلستان، این تحقیق به‌منظور بهینه‌سازی تخصیص اراضی آبی استان به کشت محصولات زراعی و باغی صورت گرفت. با تعیین معیارهای ارزیابی و ارزشگذاری آن‌ها، تخصیص مساحت اراضی بر مبنای برنامه‌ریزی مصالحه‌ای انجام و با طراحی سناریوهای محیط‌زیستی، شرایط فعلی و پیشنهادی جهاد کشاورزی، میزان عملکرد تمامی محصولات مشخص شد. نتایج وزندهی معیارها نشان داد که مصرف آب با وزنی معادل ۰/۲۶۱ مهم‌ترین معیار در این زمینه به‌شمار می‌رود. همچنین، مشخص شد که برای کشت بر اساس الگوی محیط‌زیستی، محصولات شبدر، جو، گندم و کلزا به‌ترتیب با ۱۲/۳۷، ۶/۹۱، ۶/۸۱ و ۶/۰۸ درصد از کل مساحت اراضی آبی استان در اولویت قرارگرفته است. مقایسهٔ نتایج نیز نشان داد که مطابق با الگوی محیط‌زیستی، در مصرف آب، نیاز به ماشین‌آلات، مصرف کود و سموم شیمیایی صرفه‌جویی صورت می‌گیرد که با اجرای نتایج آن می‌توان بازدهی اقتصادی را در بخش کشاورزی استان افزایش داد. بدیهی است انتخاب هر یک از این سناریوها به شکل پایلوت در یکی از شهرستان‌ها صورت می‌پذیرد و پس از مقایسهٔ نتایج واقعی، به اجرایی شدن آن در سطح استان اقدام خواهد شد.

کلیدواژه

برنامه‌ریزی ریاضی، بهینه‌سازی، محصولات زراعی، MCAT.

۱. سرآغاز

امروزه یکی از بزرگ‌ترین مشکلات جهانیان، رشد فزایندهٔ جمعیت و به‌تبع آن کمبود منابع در دسترس برای رفع نیازهای اساسی انسان‌هاست (مخدوم، ۱۳۸۴). به‌منظور نظارت بر مشکل کمبود مواد غذایی، داشتن آگاهی و اطلاعات کافی دربارهٔ کمیت، کیفیت، نوع، نحوهٔ پراکنش و سطح زیرکشت محصولات کشاورزی ضروری است. بنابراین، برنامه‌ریزی و مدیریت کشاورزی در مقیاس محلی و منطقه‌ای، نیازمند کسب آگاهی از نحوهٔ توزیع انواع محصولات کشاورزی و سطح زیرکشت آن‌هاست. طی سال‌ها، چگونگی برآورد سطح زیر کشت محصولات زراعی عمده، همواره مورد بحث کارشناسان بوده و در همین راستا، تعیین سطح زیرکشت محصولات زراعی دارای اهمیت فراوانی است (ضیائیان فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۸۸؛ عباس‌زاده تهرانی و همکاران، ۱۳۹۰). در صورتی که الگوی کشت بر اساس توان بالقوهٔ سرزمین و شرایط اقلیمی خاص هر منطقه تعیین شود، اقتصاد از مزیت‌هایی مانند رشد پایدار برخوردار خواهد شد. برای

* نویسنده مسئول: Email: f.ahmadi.m@gmail.com

دستیابی به الگوی بهینهٔ کشت لازم است به مواردی از جمله شرایط محیطی، نوع خاک، موجودی منابع تولید در منطقه به‌ویژه ذخایر آب، وضعیت فناوری و شرایط آرمانی هر محصول توجه داشت (کهنسال و فیروز زارع، ۱۳۸۷؛ طهرانی و همکاران، ۱۳۸۹). علاوه‌بر این، افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی تحت تأثیر عوامل مختلفی است. یکی از راه‌های پاسخ به تقاضای روزافزون غذا، بهره‌برداری بهینه از منابع آب استحصال‌شده برای کشاورزی و تولید بیشتر در ازای مصرف آب کمتر است (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۲؛ پورزند، ۱۳۸۳). مصرف کود و سم در عملیات کشاورزی از دیگر عواملی است که باعث ایجاد مشکلاتی اعم از کاهش کیفیت و سلامت بوم‌سازگان و آثار سوء بر حیات انسان شده است. بی‌تردید برای کاهش این آثار لازم است از اصول بوم‌شناختی در قالب کشاورزی جایگزین استفاده کرد (مشایخی و لشگری، ۱۳۸۹؛ نجاتی مقدم و بوزرجمهری، ۱۳۹۱). با توجه به شرایط متنوع اقلیمی در ایران موضوع الگوی کشت از اهمیت بیشتری برخوردار است و با مورد توجه قراردادن آن می‌توان قطب‌های تولیدی محصولات زراعی و باغی را در ایران بازتعریف و بر مبنای آن سیاستگذاری مناسب در سرمایه‌گذاری کشاورزی را مشخص کرد (حسین‌زاد و اصفهانی، ۱۳۸۶).

در زمینهٔ تعیین الگوی کشت محصولات کشاورزی تحقیقات زیادی صورت گرفته است. زمانی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی به تعیین الگوی کشت پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که الگوی کشت باید با اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی انجام گیرد. افزون بر آن الگوی کشت با اولویت اقتصادی بیشترین درآمد ناخالص را ایجاد و بیشترین نیروی کار را استفاده می‌کند. چیذری و قاسمی (۱۳۷۸) در شهرستان اقلید استان فارس، با توجه به اهداف مدیریتی واحد کشاورزی در زمینهٔ استفادهٔ کمتر از نهادهٔ زمین و آب، حداقل کردن هزینه‌های متغیر تولید و حداکثر کردن سود ناخالص، الگوی کشت بهینه را بر اساس مدل‌های ریاضی انجام دادند. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفهٔ غیرخطی فازی در تعیین الگوی کشت استفاده کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که الگوی چندهدفه نسبت به الگوی یک‌هدفه با در نظر گرفتن آرمان‌های چندگانه برتری دارد. سخدری و صبوحی (۱۳۹۱) با کاربرد برنامه‌ریزی آرمانی، الگوی بهینهٔ کشت محصولات کشاورزی در شهرستان نیشابور را بررسی کردند. باقریان و همکاران (۱۳۸۶) برای بهینه‌سازی الگوی کشت در منطقهٔ کازرون از روش برنامه‌ریزی خطی استفاده کردند که مطابق با نتایج آن مشخص شد که اگر تولید محصولات بیش از نیاز منطقه باشد، با توجه به تقاضای محدود منطقه، این محصولات دچار افت قیمت می‌شود و تولید آن‌ها توجیه و صرفهٔ اقتصادی نخواهد داشت. ارزیابی توان طبیعی اراضی کشاورزی و برآورد سطح زیر کشت و تعیین الگوی بهینهٔ آن برای محصولات متفاوت نیز در مطالعات محمدی و همکاران (۱۳۸۶)، عباس‌زاده تهرانی و همکاران (۱۳۹۰)، خداکرمی و سفیانیان (۱۳۹۱)، کاظمی (۱۳۹۲)، کاظمی و همکاران (۱۳۹۲)، فلاحی و همکاران (۱۳۹۲)، پورخباز و همکاران (۱۳۹۲) و Pilehforooshha et al. (2014) بررسی شده است.

با توجه به وضعیت اکولوژیکی و شرایط اقلیمی متنوع استان گلستان، از جمله وجود اراضی نسبتاً حاصلخیز، منابع غنی پایه از جمله آب‌های سطحی، نزولات جوی مناسب و نیروی انسانی، شرایط مطلوبی برای توسعهٔ کشاورزی در بخشی از این استان فراهم است. اما، در حال حاضر به‌دلیل بی‌توجهی به بعضی عوامل مؤثر بر درآمد ناشی از کشاورزی نظیر نوع محصول، بازدهی اقتصادی، عملکرد محصولات زراعی، هزینه‌های کشت و کار، آب لازم برای کشت و سایر مؤلفه‌ها، وضعیت کشاورزی استان چندان مساعد نیست. گواه آن اینکه متوسط عملکرد حدود ۴۰ درصد محصولات زراعی استان کمتر از متوسط کشور است. این در حالی است که این محصولات حدود ۵۰

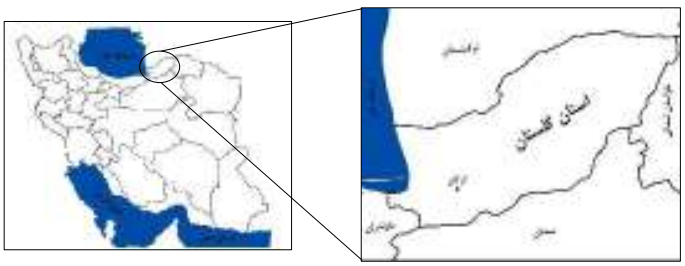
درصد آب‌های سطحی و زیرزمینی را مصرف می‌کند (سلمان ماهینی و همکاران، ۱۳۹۳). بدین دلایل ناکارآمدی کشت‌وکار، فقر کشاورزان، عدم بازدهی اقتصادی و بیکاری در سطح استان گسترش یافته است. بنابراین، ضروری است برای ترفیع مشکلات و افزایش کارایی اقتصادی بخش کشاورزی استان گلستان، برنامه‌ریزی و مدیریت در این زمینه بر اساس اصول آمایش بخشی صورت پذیرد.

با توجه به عدم انجام مطالعات جامع در زمینهٔ اولویت‌بندی کاشت و تخصیص مساحت بهینه به محصولات زراعی در استان گلستان و اهمیت بررسی پارامترهای مؤثر در تخصیص اراضی به محصولات عمدهٔ زراعی در این استان برای نیل به اهداف اقتصادی و شناسایی ظرفیت‌های آن در فعالیت‌های مختلف، در این پژوهش به بررسی این عوامل و برنامه‌ریزی و تعیین آن‌ها پرداخته‌ایم. در تحقیقات گذشته بهینه‌سازی اراضی برای کاشت محصولات کشاورزی بیشتر بر مبنای پارامترهای اقتصادی صورت پذیرفته و در این زمینه به تصمیم‌گیری بر اساس دیدگاه‌های محیط‌زیستی و مدیریتی، همچنین اولویت‌بندی محصولات برای کاشت در منطقه و استفادهٔ هم‌زمان از معیارهای اقتصادی- اجتماعی، محیط‌زیستی و مدیریتی به‌عنوان راهکار دستیابی به توافق نسبی میان دست‌اندرکاران کمتر توجه شده است. در این مطالعه تلاش شده است با کاربرد توأمان معیارهای اقتصادی- اجتماعی، محیط‌زیستی و مدیریتی، بهینه‌سازی مساحت اراضی و اولویت کاشت محصولات عمدهٔ کشاورزی در استان گلستان با استفاده از برنامه‌ریزی مصالحه‌ای مشخص شود. عقیده بر این است که پس از حک و اصلاح روش به‌کار رفته در این پژوهش بتوان از آن در سایر استان‌ها نیز استفاده کرد. سرانجام پس از مشخص‌کردن توان زراعی بهینهٔ هر یک از استان‌ها بر مبنای متغیرهای چندگانه، به تقسیم کار ملی در این زمینه اهتمام ورزید.

۲. مواد و روش بررسی

۱.۲. منطقهٔ مورد مطالعه

استان گلستان در بخش شمالی کشور و در محدودهٔ جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۷ دقیقهٔ عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۱ دقیقهٔ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است (شکل ۱). استان گلستان متشکل از ۱۴ شهرستان، ۲۷ بخش، ۲۵ شهر، ۶۰ دهستان، 1008 آبادی مسکونی و ۴۷ آبادی غیرمسکونی است. کوه شاهوار با ارتفاع ۳۹۴۵ متر بلندترین و نقاط ساحلی با ارتفاع ۲۶- متر پست‌ترین نقاط استان است. بر اساس موقعیت خاص و تحت تأثیر عرض جغرافیایی، ناهمواری‌ها، منابع آب و بادهای موسمی، اقلیم متنوع در این منطقه مشاهده می‌شود. متوسط بارندگی سالیانهٔ استان ۴۵۰ میلی‌متر است. بر اساس گزارش اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی استان در سال ۱۳۹۰، این استان با مساحتی در حدود ۲۰۴۳۷ کیلومترمربع، ۱/۳ درصد از مساحت کل کشور را به‌خود اختصاص داده است. از این مساحت حدود ۶۷۹۶۷۸ هکتار به کاربری کشاورزی و حدود ۳۷۷۸۶۶ هکتار به کشت و کار آبی اختصاص یافته است.



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مطالعاتی در ایران

۲.۲. روش تحقیق

نتایج طرح آمایش استان گلستان (سلمان ماهینی و همکاران، ۱۳۹۳) نشان داد که از کل مساحت اراضی استان ۳۱۶۳۲۶ هکتار برای کشت محصولات زراعی و باغی آبی دارای توان بوم‌شناختی مناسب است. بر این اساس، در مطالعهٔ حاضر، بخشی جهت تعیین مساحت بهینه برای کاشت محصولات زراعی و باغی مطابق با گزینه‌های (محصولات) پیشنهادی جهاد کشاورزی استان آمایش شد. نخست، ۳۶ محصول برای کشت‌وکار آبی تعیین و پس از آن معیارهای مؤثر برای مقایسه و تخصیص مساحت بهینه به هر یک از آن‌ها بر اساس نظرات کارشناسی و منابع اطلاعاتی موجود مشخص شد. در جدول ۱ معیارهای ارزیابی و ویژگی‌های آن تعریف شده است. بر اساس گزینه‌ها و معیارهای تعیین‌شده، ماتریس مقایسات تشکیل شد که در آن گزینه‌ها و معیارهای ارزیابی به‌ترتیب ردیف و ستون‌های ماتریس را تشکیل می‌دهد. ماتریس مذکور بر اساس نظرات کارشناسی و اطلاعات کتابخانه‌ای در رابطه با محصولات زراعی و باغی تکمیل شد. با توجه با اینکه معیارهای ارزیابی تعیین‌شده نسبت به همدیگر سهم متفاوتی در قضاوت و تصمیم‌گیری دارد، بر اساس نظرات کارشناسی مبتنی بر روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[1] در محیط نرم‌افزاری Expert Choice وزن‌دهی و ارزشگذاری آن‌ها انجام شد. لازم به ذکر است که جامعهٔ خبرگان در این پژوهش عبارت بودند از کارشناسان جهاد کشاورزی و اساتید دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که به شرایط محیط‌زیستی استان کاملاً واقف‌اند. نتایج نظرخواهی کارشناسی نیز بر اساس نتایج مطالعات گذشته و با توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی و اقلیمی استان تعدیل شده است. همچنین، طی چندین نشست در استانداری استان گلستان و با حضور کارشناسان جهاد کشاورزی این اطلاعات تنقیح شد. با توجه به تفاوت کارایی اقتصادی و اهمیت راهبردی محصولات زراعی، به‌منظور اولویت‌بندی آن‌ها ضریب حمایت مؤثر بر مبنای نسبت عملکرد محصول، مقدار آب مصرفی و مساحت فعلی مطابق با رابطهٔ (۱) و نیز بحث و گفتگو با مسئولان استانی و کارشناسان جهاد کشاورزی تعریف شد. علاوه‌بر این ارزش‌های ایده‌آل مثبت و منفی هر معیار بر اساس مقادیر ماتریس مقایسات و توابع تبدیل (شکل۲) تعیین شد. در مرحلهٔ بعد، تمامی داده‌ها و اطلاعات به‌دست آمده برای تجزیه‌وتحلیل به محیط نرم‌افزار MCAT[2] وارد و مساحت‌های اختصاص‌یافته برای کشت محصولات مشخص شد. برای مقایسهٔ نتایج، سه سناریو شامل الگوهای مساحت کشت فعلی، مساحت بهینه‌شده بر اساس دیدگاه محیط‌زیستی و مساحت‌های پیشنهادی جهاد کشاورزی استان طراحی شد. الگوی جهاد کشاورزی بر اساس نظرات و پیشنهادهای کارشناسان جهاد کشاورزی استان و الگوی محیط‌زیستی با توجه به نظرات متخصصان محیط‌زیست (اساتید و کارشناسان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان) انتخاب شد. در نهایت، بر اساس سناریوهای مورد نظر و مقادیر ماتریس مقایسات معیارهای ارزیابی، میزان عملکرد تمامی محصولات با استفاده از رابطهٔ (۲) به‌دست آمد. فرایند انجام تحقیق در شکل ۳ نمایان شده است.

$$Er = \frac{Cp}{Wc} * \left[Ln(Ca) \right] \qquad (۱)$$

Er = ضریب حمایت مؤثر هر محصول

Cp = عملکرد محصول

Wc = مقدار آب مصرفی در هکتار

Ca = مساحت فعلی تحت کشت محصول

$$Pr = \sum_{n=۱}^{۳۶} \left(Pc * Pw \right) \qquad (۲)$$

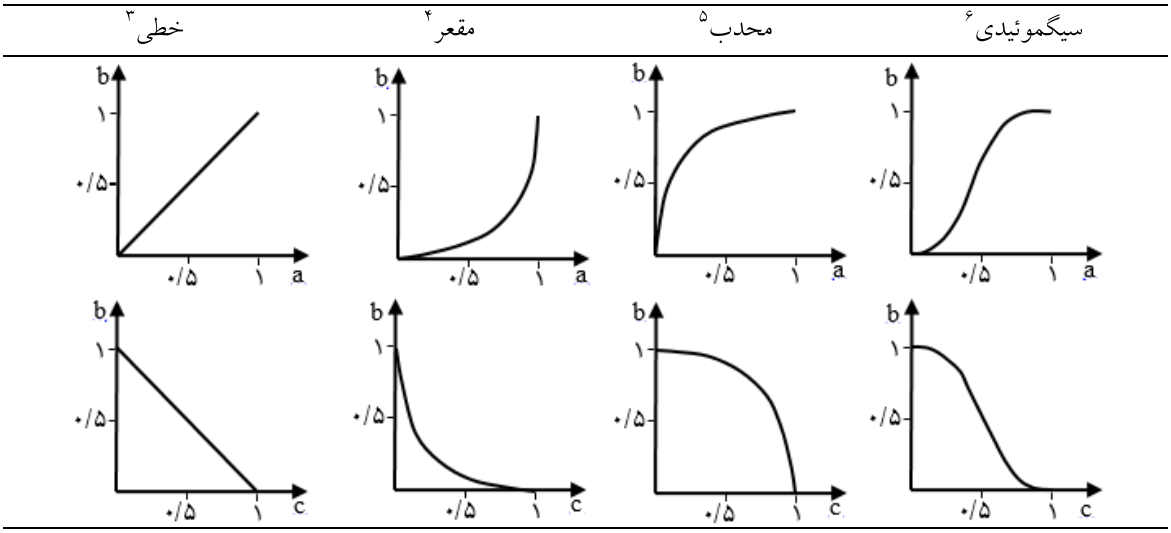
Pr = میزان عملکرد محصول بر حسب معیار

Pc = مساحت اختصاص‌یافته به هر محصول

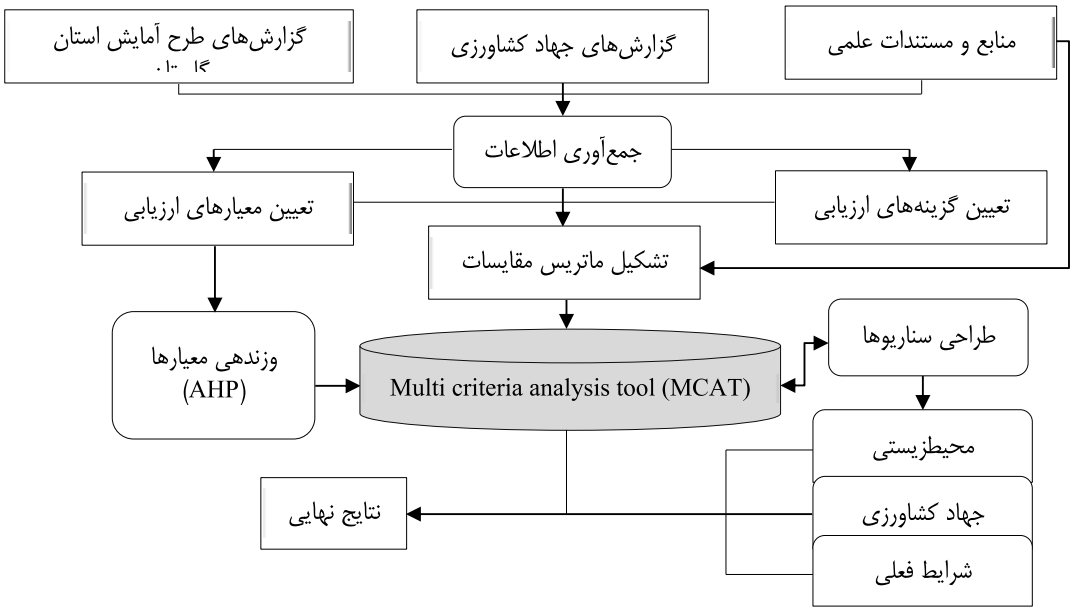
Pw = وزن معیار متناظر با آن محصول

جدول ۱. معیارهای ارزیابی در تخصیص مساحت اراضی به هریک از محصولات زراعی آبی و ویژگی‌های آن

نوع معیار	واحد	توضیحات	منبع تهیهٔ داده‌ها
مصرف آب	m^3/ha	میزان آب مورد نیاز برای کاشت هر محصول در ۱ هکتار زمین	(جهاد کشاورزی استان گلستان، ۱۳۹۳؛ فیض‌آبادی و مقدسی، ۱۳۸۶؛ عربی یزدی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Mekonnen & Hoekstra, 2011)
تولید شغل	MJ/ha	نیروی کار مورد نیاز برای کاشت هر محصول در ۱ هکتار زمین	
میزان تولید مادهٔ خشک	gr	وزن خالص مادهٔ خشک در ۱۰۰ گرم از هر محصول	
نیاز به ماشین‌آلات	MJ/ha	نیروی ماشین‌آلات مورد نیاز برای کاشت هر محصول در ۱ هکتار زمین	
ضریب حمایت سیاستی	....	نشان‌دهندهٔ تأثیر سیاست‌های دولت بر تولیدات کشاورزی	
ردپای آب	m^3	میزان کل آب مورد نیاز برای تولید ۱ کیلوگرم محصول	
سود به هزینه	.....	نسبت سود هر محصول به هزینه‌های مصرفی تولید آن	وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۶؛ مرکز آمار ایران، ۱۳۹۲؛ استانداری گلستان، ۱۳۹۰؛ سلمان ماهینی و همکاران، ۱۳۹۳
میزان مصرف کود فسفاته	kg	میزان مصرف کود فسفاتهٔ مورد نیاز برای کاشت هر محصول در ۱ هکتار زمین	
میزان سم مصرفی	kg	میزان مصرف سم مورد نیاز برای کاشت هر محصول در ۱ هکتار زمین	
میزان مصرف کود ازته	kg	میزان مصرف کود ازتهٔ مورد نیاز برای کاشت هر محصول در ۱ هکتار زمین	
سهم در سبد خانوار	.....	میزان مصرف هر محصول در سبد غذایی خانوارهای استان	
نسبت عملکرد محصولات کشاورزی	.....	نسبت عملکرد هر محصول (تن در هکتار) در استان به میزان عملکرد همان محصول در کشور	



شکل ۲. توابع تبدیل در MCAT (Marinoni et al., 2009)



شکل ۳. فرایند انجام پژوهش (نگارندگان، ۱۳۹۴)

۳.۲. نرم‌افزار تحلیل چند متغیره (MCAT)

نرم‌افزار MCAT در درجهٔ نخست برای پشتیبانی از پردازش‌های تصمیم‌گیری مدیریت منابع طبیعی توسعه یافت. از آنجا که بسیاری از مسائل مدیریت منابع طبیعی ذاتاً با جنبه‌های اکولوژیکی و اجتماعی تعامل دارد، کمّی‌سازی آن دشوار است. در نرم‌افزار MCAT برای تجزیه‌وتحلیل مسائل، روش تحلیل چند معیاری (MCA)[۷] به‌جای روش تجزیه‌وتحلیل سود- هزینه (BCA)[۸] به‌کار می‌رود. در میان روش‌های متعدد ارزیابی چند معیاری، برنامه‌ریزی مصالحه‌ای روش تجزیه‌وتحلیل در محیط نرم‌افزاری MCAT انتخاب شده است. این نرم‌افزار همچنین دارای قابلیت بهینه‌سازی است که اجازه می‌دهد در انتخاب گزینه‌های تصمیم‌گیری، محدودیت‌های مسئله (برای مثال، بودجه یا مساحت اراضی) اهمیت یابد (Zeleny, 1973; Hajkowicz, 2008; Marinoni et al., 2009; Higgins, 2003).

۴.۲. برنامه‌ریزی مصالحه‌ای[۹]

این روش بر پایهٔ نقطهٔ ایده‌آل جابه‌جاشده قراردارد. در این رویکرد فرض بر این است که انتخاب از میان گزینه‌ها به نقطهٔ مبنایی وابسته است که مورد استفاده قرار گرفته باشد. انتخاب آشکار برای نقطهٔ مبنا، همان راه‌حل ایده‌آلی است که به‌واسطهٔ آن ارزش بهینهٔ هر هدف به‌صورت مجزا تعیین می‌شود. در این روش، سعی بر این است که فاصله از راه‌حل ایده‌آل به حداقل رسانده شود. راه‌حل‌هایی که نزدیک‌ترین راه‌حل به راه‌حل ایده‌آل باشند، راه‌حل‌های مصالحه‌ای نامیده می‌شود و مجموعهٔ مصالحه‌ای را شکل می‌دهد. در این روش با استفاده از سنجه‌های مختلف برنامه‌ریزی خطی وزنی، نزدیک‌ترین راه‌حل غالب به راه‌حل ایده‌آل به‌دست می‌آید (رابطهٔ ۳).

(۳)

$$Min\ Lp = \left\{ \sum_k W_k^p \left[\frac{f_{k+}(x) - f_k(x)}{f_{k+}(x) - f_{k-}(x)} \right]^p \right\}^{\frac{1}{p}}$$

به قسمی که

$x \in X, \quad W_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \ldots, q$

L_p = سنجهٔ فاصله‌ای

W_k = وزن تابع هدف kام

$f_{k+}(x)$ = راه‌حل ایده‌آل از تابع هدف kام

$f_{k-}(x)$ = ارزش نظیر یا ضد ایده‌آل از تابع هدف kام

$p = \infty$ تا ۱ پارامتر توانی با دامنهٔ

مجموعهٔ مصالحه‌ای شامل راه‌حل‌هایی است که با حل معادلهٔ مذکور در رابطه با مجموعهٔ مورد نظر از اوزان ($w_1, w_2, \ldots, w_q$) و در رابطه با تمام $1 \leq p \leq \infty$ تعیین می‌شود و معمولاً برای مقادیر $p=1, 2, \infty$ مسئله حل می‌شود. پارامتر p نشان‌دهندهٔ انحراف حداکثر از نقطهٔ ایده‌آل است. در حالت کلی، ارزش‌های بزرگ‌تر p منعکس‌کنندهٔ علاقهٔ بیشتر به کمینه‌سازی انحراف حداکثر است. برای $p=1$، تمامی انحراف‌ها با وزن برابر مشخص می‌شود و در $p=2$ وزن هر انحراف به نسبت اندازهٔ آن تعیین می‌شود. هر چه انحراف بزرگ‌تر باشد، میزان وزن نیز بزرگ‌تر می‌شود. اما در مقدار $p \leq \infty$ معیار حداقل- حداکثر به‌دست می‌آید. به‌عبارت دیگر، گزینهٔ مصالحه‌ای تفاوت حداکثر بین راه‌حل ایده‌آل و گزینهٔ جایگزین را بر حسب تمامی اهداف به حداقل می‌رساند. بنابراین، رویکرد مصالحه‌ای شامل وزن‌دهی مضاعف است. پارامترهای W_k و p به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ اهمیت انحراف حداکثر و اهمیت نسبی هدف kام است. وزن‌های w_k انحراف‌ها را بر حسب اهداف، قطع نظر از اهمیت و اندازهٔ آن می‌سنجد. پارامتر p انحراف‌های منفرد را بر حسب اندازه و اهمیت آن‌ها و در عرض اهداف می‌سنجد (Zeleny, 1973; Malczewski, 1999; Marinoni et al., 2009; Poff et al., 2010).

۳. یافته‌ها

در این پژوهش با تکیه بر گزارش‌های جهاد کشاورزی و طرح آمایش استان گلستان در بخش کشاورزی (سلمان ماهینی و همکاران، ۱۳۹۳)، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز با توجه به هدف تحقیق جمع‌آوری و تهیه شد. پس از تعیین دوازده معیار مؤثر و مناسب برای بهینه‌سازی تخصیص اراضی به محصولات کشاورزی آبی، اوزان تعیین شده بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، هدف، تابع تبدیل، مقدار کمینه و بیشینه و اهمیت ایده‌آل مثبت و منفی برای هر یک از آن‌ها مطابق با جدول ۲ به‌دست آمد. برای تعیین کارایی اقتصادی و اهمیت راهبردی محصولات کشاورزی ضریب حمایت مؤثر تعریف شد (جدول ۳). با تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزاری MCAT مساحت بهینه‌شده برای کشت هر محصول در سطح استان گلستان مشخص شد. نتایج آن همراه با مساحت زیرکشت فعلی و میزان پیشنهادی جهاد کشاورزی استان برای هر محصول در جدول ۴ و تغییرات آن در شکل ۴ آمده است. در نهایت، بر اساس سناریوهای تعریف‌شده میزان عملکرد تمامی محصولات بر اساس هر معیار تعیین شد (جدول ۵ و ۶). برای بررسی میزان درستی و صحت و با درنظرگرفتن نتایج الگوی محیط‌زیستی، آنالیز حساسیت روی نتایج انجام گرفت. نرم‌افزار MCAT آنالیز حساسیت را در قالب تغییر وزن هر یک از معیارهای ورودی انجام می‌دهد و قابلیت تعیین گزینه و معیارهای حساس و مهم را داراست. در این پژوهش برای آنالیز حساسیت روی نتایج خروجی مطابق با سناریوی محیط‌زیستی با تغییر وزن هر معیار به ۱ (حداکثر وزن هر معیار) در محیط MCAT، گزینه‌ها و معیارهای حساس و مهم تعیین شد. با تعیین مقادیر مساحت اختصاص‌یافته به هر محصول بر اساس تغییر وزن هر معیار در محیط MCAT نتایج نهایی به محیط Excel 2010 وارد و نمودارهای نتایج آنالیز حساسیت مطابق با شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ ترسیم شد.

جدول ۲. معیارهای ارزیابی مورد نظر برای بهینه‌سازی تخصیص اراضی، اوزان و مقادیر تعریف شدهٔ آن‌ها

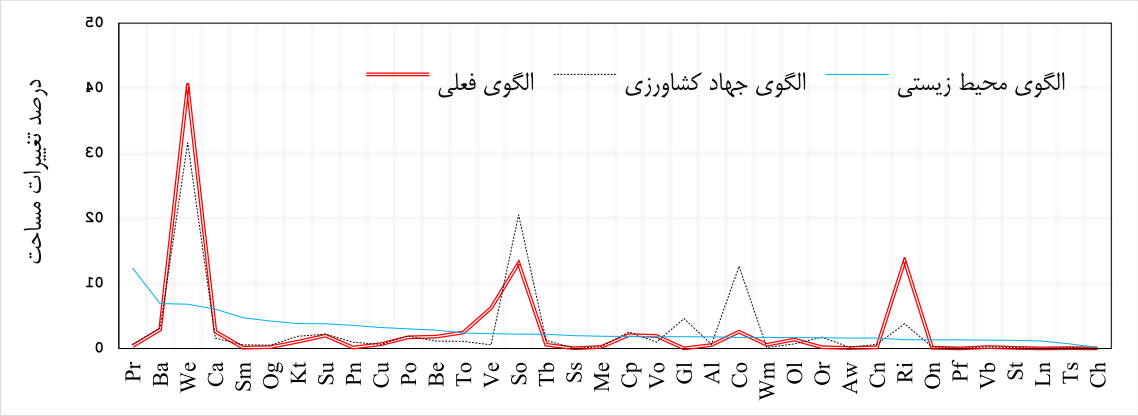
معیار	واحد	وزن AHP	هدف معیار	تابع تبدیل	مقدار		نقطهٔ ایده‌آل	
					کمینه	بیشینه	مثبت	منفی
مصرف آب	m^3/ha	۰/۲۶۱	کمینه‌سازی	محدب	۳۴۱۵	۱۵۱۵۰	۳۴۱۵	۱۵۱۵۰
تولید شغل	MJ/ha	۰/۰۲۳	بیشینه‌سازی	محدب	۱۶۳/۲۱	۴۸۰۲	۴۸۰۲	۱۶۳/۲۱
سود به هزینه	.....	۰/۰۴۵	بیشینه‌سازی	محدب	۰/۳	۱/۶۸۲	۱/۶۸۲	۰/۳
میزان تولید مادهٔ خشک	gr	۰/۰۳۳	بیشینه‌سازی	محدب	۰/۰۱۷	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۰۱۷
نیاز به ماشین‌آلات	MJ/ha	۰/۰۲۲	کمینه‌سازی	سیگموئیدی	۲۱/۲۵	۱۵۵۷۵	۲۱/۲۵	۱۵۵۷۵
میزان مصرف کود ازته	kg	۰/۱۳۷	کمینه‌سازی	محدب	۵۰	۲۵۰	۵۰	۲۵۰
میزان مصرف کود فسفاته	kg	۰/۰۷۶	کمینه‌سازی	محدب	۵۰	۱۵۰	۵۰	۱۵۰
میزان مصرف سموم	kg	۰/۱۹۳	کمینه‌سازی	محدب	۱	۷	۱	۷
ضریب حمایت سیاستی	....	۰/۰۲۱	بیشینه‌سازی	محدب	۰/۲۳	۲/۴۷۸	۲/۴۷۸	۰/۲۳
ردپای آب	m^3	۰/۰۵۹	کمینه‌سازی	محدب	۲۱۴	۱۰۰۰۰	۲۱۴	۱۰۰۰۰
سهم در سبد خانوار	....	۰/۰۲۳	بیشینه‌سازی	محدب	۲۰۰	۷۰۰۰	۷۰۰۰	۲۰۰
نسبت عملکرد	....	۰/۱۰۷	بیشینه‌سازی	محدب	۰/۱۳	۲/۶۹	۲/۶۹	۰/۱۳
نرخ ناسازگاری		۰/۰۷						

جدول ۳. ضریب حمایت مؤثر تعیین‌شده در رتبه‌بندی ارزش محصولات زراعی آبی

ردیف	محصول	ضریب حمایت مؤثر	ردیف	محصول	ضریب حمایت مؤثر
۱	گندم	۲۶/۵	۱۹	سیب‌زمینی	۱۱/۵
۲	جو	۲۶/۸	۲۰	گوجه‌فرنگی	۹/۲
۳	برنج	۷/۲	۲۱	سایر سبزیجات (ذرت شیرین و جزآن)	۷/۱
۴	ذرت دانه‌ای	۷/۵	۲۲	هندوانه	۶/۷
۵	عدس و لپه	۴/۵	۲۳	خربزه	۷/۴
۶	لوبیا انواع مختلف	۵/۲	۲۴	خیار	۱۲/۳
۷	نخود و ماش	۰/۷	۲۵	ذرت علوفه‌ای	۹/۴
۸	آفتابگردان	۱۴/۸	۲۶	یونجه	۷
۹	سویا	۱۱/۴	۲۷	شبدر	۴۶/۲
۱۰	پنبه	۷/۳	۲۸	سورگوم، ارزن و ماشک	۲۲/۳
۱۱	توتون	۸/۵	۲۹	درختان دانه‌دار	۳/۳
۱۲	کنجد	۸	۳۰	درختان هسته‌دار	۱۶/۹
۱۳	بادام‌زمینی	۱۳/۵	۳۱	زیتون	۶/۷
۱۴	کلزا	۲۳/۴	۳۲	مرکبات	۷/۵
۱۵	سبزیجات	۸/۹	۳۳	گل و گیاهان زینتی و دارویی	۶/۱
۱۶	باقلا	۱۰/۹	۳۴	خشکبار شامل گردو، فندق و پسته	۷/۳
۱۷	پیاز	۵/۱	۳۵	سایر محصولات باغی	۱۶
۱۸	توت‌فرنگی	۵	۳۶	توسعهٔ باغات اراضی شیبدار	۷/۱

جدول ۴. مساحت‌های تعیین شده جهت کشت محصولات زراعی آبی بر اساس سناریوهای مورد نظر

کد	نام محصول	الگوی فعلی		الگوی جهاد کشاورزی		الگوی محیط‌زیستی	
		ha	درصد	ha	درصد	ha	درصد
We	گندم	۱۵۲۰۹۵	۴۰/۲۵	۱۰۰۰۰۰	۳۱/۶۱	۲۱۵۳۶	۶/۸۱
Ba	جو	۱۰۹۹۲	۲/۹۱	۱۰۰۰۰	۳/۱۶	۲۱۸۴۳	۶/۹۱
Ri	برنج	۵۰۹۹۲	۱۳/۴۹	۱۲۰۰۰	۳/۷۹	۴۲۷۵	۱/۳۵
Cn	ذرت دانه‌ای	۶۶۱	۰/۱۷	۲۰۰۰	۰/۶۳	۵۰۷۵	۱/۶
Ln	عدس و لپه	۲۸	۰/۰۱	۵۰	۰/۰۲	۳۵۹۹	۱/۱۴
Vb	لوبیا انواع مختلف	۸۰۸	۰/۲۱	۸۰۰	۰/۲۵	۴۰۵۰	۱/۲۸
Ch	نخود و ماش	۶۹	۰/۰۲	۵۰	۰/۰۲	۵۰۴	۰/۱۶
Su	آفتابگردان	۷۴۶۷	۱/۹۸	۷۰۰۰	۲/۲۱	۱۲۰۱۴	۳/۸
So	سویا	۴۹۵۱۴	۱۳/۱	۶۵۰۰۰	۲۰/۵۵	۶۹۷۲	۲/۲
Co	پنبه	۹۷۵۳	۲/۵۸	۴۰۰۰۰	۱۲/۶۵	۵۳۵۲	۱/۶۹
Tb	توتون	۲۲۵۷	۰/۶	۴۰۰۰	۱/۲۶	۶۸۷۵	۲/۱۷
Ss	کنجد	۱۱۷	۰/۰۳	۵۰	۰/۰۲	۶۲۸۶	۱/۹۹
Pn	بادام‌زمینی	۵۹۵	۰/۱۶	۳۰۰۰	۰/۹۵	۱۱۲۳۲	۳/۵۵
Ca	کلزا	۹۷۹۹	۲/۵۹	۵۰۰۰	۱/۵۸	۱۹۰۹۴	۶/۰۴
Ve	سبزیجات	۲۳۴۹۳	۶/۲۲	۱۸۰۰	۰/۵۷	۷۲۰۹	۲/۲۸
Be	باقلا	۶۸۱۴	۱/۸	۳۶۰۰	۱/۱۴	۸۹۵۲	۲/۸۳
On	پیاز	۴۷۲	۰/۱۲	۸۰۰	۰/۲۵	۴۲۳۸	۱/۳۴
St	توت‌فرنگی	۴۲۹	۰/۱۱	۴۰۰	۰/۱۳	۴۰۰۸	۱/۲۷
Po	سیب‌زمینی	۶۴۷۴	۱/۷۱	۶۰۰۰	۱/۹	۹۵۵۳	۳/۰۲
To	گوجه‌فرنگی	۹۲۶۰	۲/۴۵	۳۵۰۰	۱/۱۱	۷۵۶۰	۲/۳۹
Vo	سایر سبزیجات (ذرت شیرین و جزآن)	۷۲۸۷	۱/۹۳	۳۱۲۰	۰/۹۹	۵۷۵۲	۱/۸۲
Wm	هندوانه	۲۱۶۳	۰/۵۷	۵۰۰	۰/۱۶	۵۳۴۱	۱/۶۹
Me	خربزه	۹۱۸	۰/۲۴	۸۵۰	۰/۲۷	۵۹۵۸	۱/۸۸
Cu	خیار	۲۴۵۵	۰/۶۵	۲۰۰۰	۰/۶۳	۱۰۲۲۴	۳/۲۳
Cp	ذرت علوفه‌ای	۷۸۱۳	۲/۰۷	۸۰۰۰	۲/۵۳	۵۸۴۰	۱/۸۵
Al	یونجه	۲۰۳۹	۰/۵۴	۲۰۰۰	۰/۶۳	۵۶۴۷	۱/۷۹
Pr	شبدر	۱۳۱۱	۰/۳۵	۲۰۰۰	۰/۶۳	۳۹۱۲۲	۱۲/۳۷
Sm	سورگوم، ارزن و ماشک	۵۰۴	۰/۱۳	۱۸۰۰	۰/۵۷	۱۴۹۵۹	۴/۷۳
Ts	درختان دانه‌دار	۲۱۴	۰/۰۶	۴۴۶	۰/۱۴	۲۲۲۹	۰/۷
Kt	درختان هسته‌دار	۳۹۳۰	۱/۰۴	۵۹۵۰	۱/۸۸	۱۲۱۱۲	۳/۸۳
Ol	زیتون	۵۱۶۲	۱/۳۷	۲۲۳۸	۰/۷۱	۵۲۹۸	۱/۶۷
Or	مرکبات	۷۵۴	۰/۲	۵۵۱۸	۱/۷۴	۵۲۲۶	۱/۶۵
Pf	گل و گیاهان زینتی و دارویی	۶۹	۰/۰۲	۱۱۱	۰/۰۴	۴۲۰۵	۱/۳۳
Aw	خشکبار شامل گردو، فندق و پسته	۳۰۰	۰/۰۸	۶۱۵	۰/۱۹	۵۰۸۸	۱/۶۱
Og	سایر محصولات باغی	۸۲۸	۰/۲۲	۱۶۲۸	۰/۵۱	۱۳۳۷۲	۴/۲۳
Gl	توسعهٔ باغات اراضی شیبدار	۳۰	۰/۰۱	۱۴۵۰۰	۴/۵۸	۵۷۲۵	۱/۸۱



شکل ۴. نمودار درصد تغییرات مساحت اختصاص‌یافته به هر محصول بر اساس سناریوهای مورد نظر

جدول ۵. محاسبهٔ میزان عملکرد تمامی محصولات بر اساس معیارهای ارزیابی در سناریوهای مختلف

معیار	واحد	الگوی فعلی	الگوی جهاد کشاورزی	الگوی محیط‌زیستی
مصرف آب	m^3/ha	۲۷۹۳	۲۳۲۵	۲۱۶۲
تولید شغل	MJ/ha	۲۶۷	۲۳۳	۳۷۴
سود به هزینه	.....	۰/۲	۰/۱۶	۰/۲۲
میزان تولید مادهٔ خشک	gr	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱
نیاز به ماشین‌آلات	MJ/ha	۹۴۳	۷۴۳	۷۳۱
میزان مصرف کود ازته	kg	۶۱/۷	۵۲/۵	۶۱/۲
میزان مصرف کود فسفاته	kg	۲۹/۱	۲۶	۲۵/۴
میزان مصرف سموم	kg	۱/۵۳	۱/۳۹	۱/۱۲
ضریب حمایت سیاستی	....	۰/۴۱	۰/۳۳	۰/۲۹
ردپای آب	m^3	۸۱۳	۹۲۹	۶۷۰
سهم در سبد خانوار	....	۱۸۸۸	۱۲۴۹	۸۹۸
نسبت عملکرد	.....	۰/۳۵	۰/۳	۰/۴

اعداد برحسب میلیون محاسبه شده‌اند.

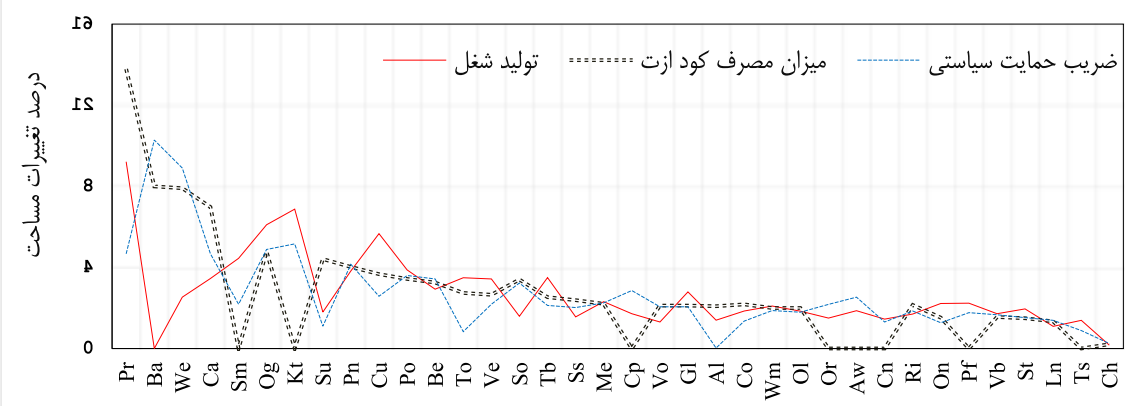
۴. بحث

نتایج وزن‌دهی معیارهای مؤثر در بهینه‌سازی تخصیص اراضی برای کشت محصولات کشاورزی بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نشان داد که بیشترین وزن (۰/۲۶۱) به معیار مصرف آب اختصاص می‌یابد، که منطقی است، چرا که آب عامل و محرک اصلی کشاورزی محسوب می‌شود و کاشت محصولات کشاورزی در هر منطقه نیز باید بر اساس نیاز آبی آن صورت پذیرد تا اینکه از این طریق بتوان در مصرف آب صرفه‌جویی کرد. همچنین، با توجه به وجود بحران آب در حال حاضر و نگرش جامعهٔ جهانی در سطوح ملی و بین‌المللی در این زمینه، رعایت این مورد از الزامات کنونی و آیندهٔ کشاورزی در هر منطقه است. معیارهای میزان مصرف سموم و کود ازته، همچنین نسبت عملکرد به‌ترتیب با ارزش‌های ۰/۱۹۳، ۰/۱۳۷ و ۰/۱۰۷ در رتبه‌های بعدی قرار گرفته است. این نتایج نشان می‌دهد که توجه به مصرف کودها و

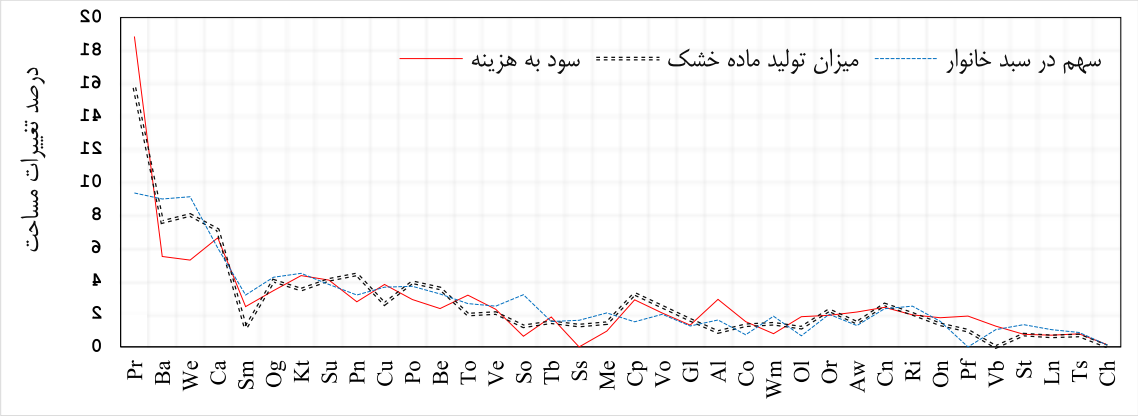
سموم شیمیایی در بخش کشاورزی اهمیت فراوان دارد و مصرف بیش از حد آن تهدیدی جدی برای محیط‌زیست، سلامت انسان‌ها و حیات وحش به‌شمار می‌رود. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) و فلاحی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی بر نتایج مذکور تأکید کرده‌اند و اذعان داشته‌اند که با اصلاح الگوی کشت محصولات زراعی ضمن کاهش مصرف بی‌رویهٔ آب، می‌توان مصرف کود و سم و خطرات محیط‌زیستی ناشی از آن را تا حدود زیادی کاهش داد. همچنین، در مطالعات سلمان ماهینی و همکاران (۱۳۹۳) در طرح آمایش استان مشخص شد که هم‌اکنون نیز خاک برخی مناطق کشاورزی آبی به‌شدت آلوده به فلزات سنگین است که این امر ناشی از مصرف کود و سموم و ناخالصی‌های همراه با آن است. با توجه به نسبت عملکرد محصولات زراعی استان و وضعیت بازارهای داخلی و بین‌المللی نیز می‌توان از یک‌طرف میزان پایداری تولید محصولات کشاورزی در سطح استان را ایجاد کرد و از طرف دیگر کارایی و سودآوری بخش کشاورزی منطقه را افزایش داد.

جدول ۶. تفاوت میزان عملکرد تمامی محصولات بر اساس معیارهای ارزیابی در سناریوی محیط‌زیستی نسبت به سناریوهای دیگر

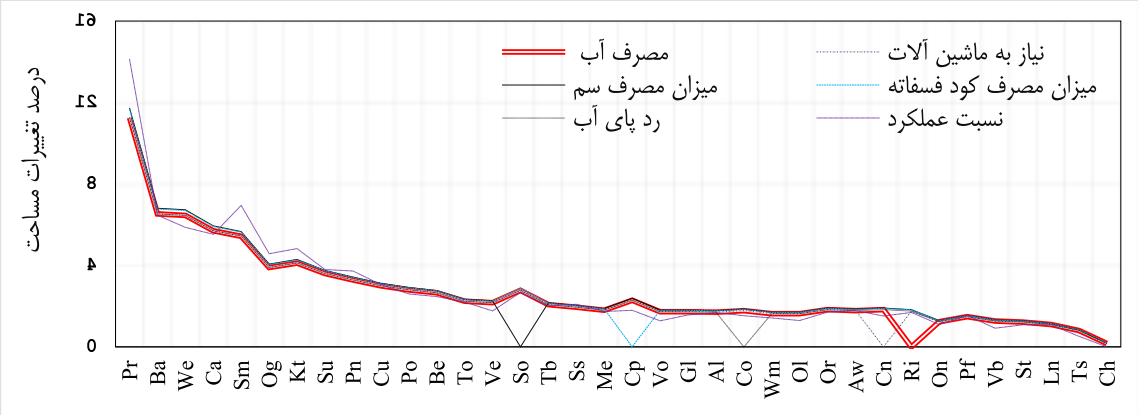
معیار	نسبت به الگوی فعلی (٪)	روند تغییرات	نسبت به الگوی جهاد کشاورزی (٪)	روند تغییرات
مصرف آب	۲۲/۶	کاهشی	۷	کاهشی
تولید شغل	۴۰	افزایشی	۶۰/۲	افزایشی
سود به هزینه	۹/۳	افزایشی	۳۹/۵	افزایشی
میزان تولید مادهٔ خشک	۱۲/۹	کاهشی	۲۰/۶	افزایشی
نیاز به ماشین‌آلات	۲۲/۵	کاهشی	۱/۶	کاهشی
میزان مصرف کود ازته	۰/۸	کاهشی	۱۶/۶	افزایشی
میزان مصرف کود فسفاته	۱۲/۶	کاهشی	۲/۱	کاهشی
میزان مصرف سموم	۲۷/۱	کاهشی	۱۹/۳	کاهشی
ضریب حمایت سیاستی	۳۰/۳	کاهشی	۱۳/۲	کاهشی
ردپای آب	۱۷/۶	کاهشی	۲۷/۸	کاهشی
سهم در سبد خانوار	۵۲/۴	کاهشی	۲۸/۱	افزایشی
نسبت عملکرد	۱۳/۶	افزایشی	۳۲/۳	افزایشی



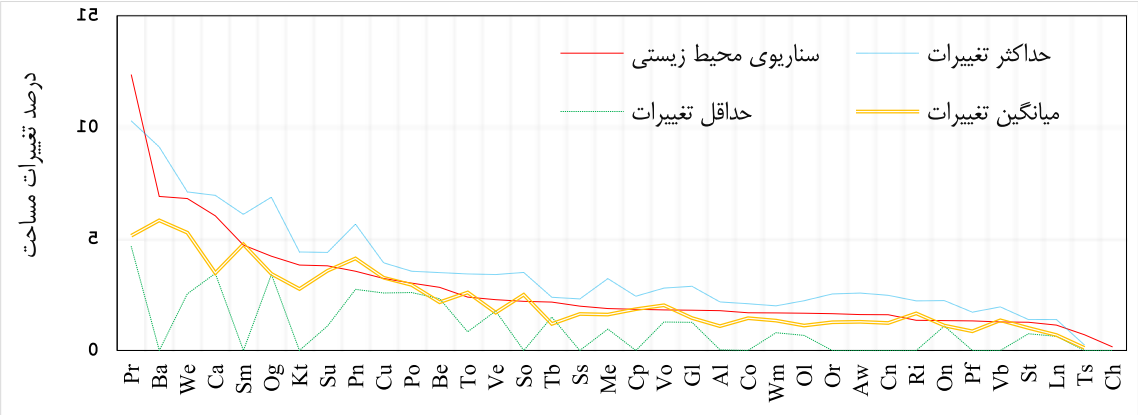
شکل ۵. تغییر مساحت اختصاص‌یافته به محصولات بر اساس تغییر وزن معیارهای با حساسیت زیاد



شکل ۶. تغییر مساحت اختصاص‌یافته به محصولات بر اساس تغییر وزن معیارهای با حساسیت متوسط



شکل ۷. تغییر مساحت اختصاص‌یافته به محصولات بر اساس تغییر وزن معیارهای با حساسیت کم



شکل ۸. حداکثر، حداقل و میانگین تغییرات مساحت اختصاص‌یافته به محصولات بر اساس تغییرات وزن معیارهای ارزیابی

نتایج تجزیه‌وتحلیل داده‌ها بر اساس الگوی محیط‌زیستی نشان داد که محصولات شبدر، جو، گندم و کلزا به‌ترتیب با ۱۲/۳۷، ۶/۹۱، ۶/۸۱ و ۶/۰۸ درصد از کل مساحت اراضی کشاورزی آبی استان برای کشت در اولویت قرار دارد، در حالی که بر اساس شرایط کشت و کار فعلی حدود ۲۱۰ هزار هکتار از کل مساحت اراضی آبی استان زیر کشت گندم، سویا و پنبه است که به‌ترتیب ۴۰/۲۵، ۱۳/۱ و ۲/۵۸ درصد از کل مساحت اراضی را شامل می‌شود. همچنین، بر اساس الگوی پیشنهادی جهاد کشاورزی حدود ۲۰۵ هزار هکتار به کشت گندم، سویا و پنبه (به‌ترتیب ۳۱/۶۱، ۲۰/۵۵ و ۱۲/۶۵ درصد) اختصاص یافته است. این نتایج حاکی از این واقعیت است که هر چند گندم، سویا و پنبه از نظر مسئولان و کشاورزان استان محصولات راهبردی و مهم برای کشت به‌شمار می‌رود، کشت و تولید آن‌ها با توجه به شرایط اقلیمی و محیط‌زیست استان گلستان منجر به افت کیفیت و کمیت تولیدات و کاهش کارایی اقتصادی در بخش کشاورزی استان و تهیدستی کشاورزان شده است. همچنین، وضعیت مناسب کشت این محصولات در استان‌های دیگر ناکاریی و عدم‌سودآوری کشت در استان را افزایش داده است. آمارنامهٔ کشت محصولات کشاورزی در کشور نیز نشان می‌دهد که عملکرد کاشت محصولاتی همچون پنبه و سویا در استان گلستان از میانگین عملکرد کاشت این محصولات در سطح ملی پایین‌تر است. بر اساس نتایج الگوی محیط‌زیستی نیز معلوم شد که گندم، سویا و پنبه در سطح بسیار محدودتری از کل اراضی آبی (در حدود ۳۴ هزار هکتار) نسبت به شرایط فعلی باید کشت شود، در حالی که به کاشت دیگر محصولات مانند دانه‌های پروتئینی و روغنی، همچنین گیاهان علوفه‌ای از جمله شبدر باید توجه خاص شود.

نتایج تحقیق همچنین نشان داد که در الگوهای جهاد کشاورزی و شرایط فعلی به کاشت برخی محصولات مهم اعم از عدس، لپه، نخود، ماش و کنجد که از مواد غذایی اصلی تأمین پروتئین و تولید روغن گیاهی است، توجهی چندانی نشده است و در کل کمتر از ۲۰۰ هکتار از کل مساحت اراضی آبی به آن اختصاص یافته است، در حالی که در الگوی محیط‌زیستی برای کاشت آن مساحتی بالغ بر ۱۰ هزار هکتار اختصاص می‌یابد. بر اساس موارد مذکور مشخص شد که روند تغییرات مساحت اختصاص‌یافته به محصولات کشاورزی در الگوی محیط‌زیستی نسبت به الگوی‌های جهاد کشاورزی و شرایط فعلی به‌نحو بهتری صورت پذیرفته (شکل ۴) و بر اساس آن نیز کارایی اقتصادی افزایش یافته است (جدول ۶). همچنین، با توجه به آنکه به دیدگاه اکولوژیکی در سناریوهای دیگر کمتر توجه شده است، با طراحی سناریوی محیط‌زیستی به لزوم توجه به پارامترهای اکولوژیکی تأکید شده است تا توازن و تعادل مناسب بین جنبه‌های اکولوژیکی، اقتصادی- اجتماعی و مدیریتی در تصمیم‌گیری نهایی رعایت شود.

با توجه به آنکه روش برنامه‌ریزی مصالحه‌ای اساس نرم‌افزار MCAT و رویکردی بر مبنای ایده‌آل‌های مثبت و منفی است و به‌طور مؤثر مطلوبیت گزینه‌های تصمیم‌گیری را بر اساس انتخاب کران‌های مناسب و فاصله از ارزش‌های ایده‌آل تعیین می‌کند (Marinoni et al., 2009; Poff et al., 2010)، در این پژوهش مورد توجه قرارگرفت. نتایج نشان داد که با استفاده از این روش برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها می‌توان امکان مصالحه میان انواع اهداف اقتصادی- اجتماعی، محیط‌زیستی و مدیریتی را فراهم آورد و زمینه‌ای برای تکرار انواع سناریوها در اختیار گروه تصمیم‌گیرندگان قرارداد تا با تکرار این روش بر اساس تغییر در معیارهای مورد نظر به مصالحه‌ای در مورد مساحت و نیز اولویت محصولات دست‌یابند و از این طریق رضایت نسبی ذی‌نفعان به‌دست آید.

تغییرات در وزن معیارها ممکن است تأثیر بسیار زیادی بر نتایج تحلیل چند متغیره داشته باشد. بنابراین، در تجزیه‌وتحلیل داده‌ها مهم است که تأثیر تغییرات در وزن معیارها (داده‌های ورودی) بر نتایج MCA و مقادیر

بهینه‌سازی‌شده (نتایج خروجی) بررسی شود تا میزان درستی و استحکام فرایند مدل‌سازی تعیین شود. در این تحقیق، با اختصاص حداکثر ارزش به هر معیار آثار آن بر تغییر مساحت‌ها مشخص شد. قابل ذکر است که با افزایش وزن هر معیار به ۱۰۰٪ وزن معیارهای دیگر به صفر کاهش می‌یابد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که می‌توان معیارهای ارزیابی در این مطالعه را در سه گروه حساس، نیمه‌حساس و حساسیت کم طبقه‌بندی کرد. معیارهای حساس به‌ترتیب شامل مصرف کود ازته، تولید شغل و ضریب حمایت سیاستی (شکل ۵)، گروه نیمه‌حساس شامل معیارهای سود به هزینه، میزان تولید مادهٔ خشک و سهم در سبد خانوار (شکل ۶) و معیارهای با حساسیت کم شامل مصرف آب، نیاز به ماشین‌آلات، میزان مصرف سم، مصرف کود فسفاته، ردپای آب و نسبت عملکرد (شکل ۷) است. مطابق شکل ۸ که نمایانگر میانگین، حداقل و حداکثر تغییرات مساحت اختصاص‌یافته به هر یک از محصولات با توجه به تغییرات وزن تمامی معیارهای ارزیابی است نیز مشخص شد با اختصاص حداکثر وزن به معیاری خاص برخی محصولات از صحنهٔ رقابت حذف می‌شود. مساحت اختصاص‌یافته به محصولات برنج، جو، کنجد، لوبیا، سویا، ذرت علوفه‌ای، یونجه و پنبه به‌ترتیب با افزایش ۱۰۰٪ ارزش معیارهای مصرف آب، تولید شغل، سود به هزینه، تولید مادهٔ خشک، مصرف سم، مصرف کود فسفاته، ضریب حمایت سیاستی و ردپای آب به حداقل ممکن می‌رسد. همچنین، با اختصاص حداکثر وزن به معیار مصرف کود ازته بیشتر محصولات از جمله مرکبات، درختان دانه‌دار و هسته‌دار، خشکبار، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، گیاهان دارویی و زینتی، سورگوم، ارزن و ماشک از صحنهٔ رقابت حذف می‌شود. این موضوع بیانگر این واقعیت است که شرایط کشت برخی محصولات به‌شدت به معیار خاصی وابسته است و با تغییر معیار مربوط تا حدود زیادی وضعیت مناسب برای تولید آن محصول تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. بر اساس نتایج آنالیز حساسیت مشخص شد که فرایند بهینه‌سازی و مدل‌سازی در این تحقیق صحت قابل قبولی داشته باشد و با توجه به داده‌ها و اطلاعات موجود در این زمینه تجزیه‌وتحلیل و آنالیز آن پذیرفته شود. با این حال، مقالهٔ حاضر ادعای جامعیت ندارد و تنها می‌خواهد چارچوبی نوین برای تصمیم‌گیری‌های چند هدفه ارائه کند.

۵. نتیجه‌گیری

هم‌اکنون اطلاعات لازم برای تحلیلی مشتمل بر متغیرهای مختلف سود به هزینه، تولید مادهٔ خشک، آب مورد نیاز، کود و سموم لازم برای محصولات، ماشین‌آلات و جزآن برای استان و بالمال کل کشور با درستی نسبی قابل‌قبول وجود دارد. همچنین، رهیافت‌های تحلیلی چند هدفه و مبتنی بر ریاضیات خطی نظیر رهیافت به‌کار رفته در این پژوهش در قالب نرم‌افزارهایی در اختیار محققان است. هر چند این تحلیل مکان کاشت را به‌دست نمی‌دهد، میزان بهینهٔ کشت انواع محصولات را بر اساس انواع معیارها در قالب ریاضی مشخص می‌کند که در مرحلهٔ بعد در قالب نرم‌افزارهای سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و با اطلاعات نقشه‌ای مناسب نیز مکان‌دار می‌شود. در مقایسهٔ نتایج سه سناریوی مورد نظر این تحقیق مشخص شد که در تخصیص مساحت اراضی آبی استان به محصولات کشاورزی مطابق با الگوی محیط‌زیستی در مصرف آب، نیاز به ماشین‌آلات و مصرف کود و سموم شیمیایی روند کاهشی و در معیارهای تولید شغل، سود به هزینه، میزان تولید مادهٔ خشک، سهم در سبد خانوار و نسبت عملکرد محصولات روند افزایشی قابل‌توجهی نسبت به دو الگوی دیگر مشاهده می‌شود و بیانگر این مطلب است که اجرای نتایج الگوی محیط‌زیستی در بخش کشاورزی استان سودآوری و بازدهی اقتصادی را افزایش می‌دهد.

تعامل و هم‌کنشی بین پارامترهای مختلف محیط‌زیستی، کمّی‌سازی آن را در فرایندهای تصمیم‌گیری و مدیریتی سرزمین با مشکل مواجه ساخته است. لذا، در

این تحقیق با کاربرد نرم‌افزار MCAT مشخص شد که با استفاده از ابزار مناسب می‌توان بسیاری از پارامترهای اکولوژیکی و اجتماعی را بر اساس روش‌های چند معیاری به‌منظور اتخاذ تصمیم‌های آگاهانه و مطلوب در مسائل منابع طبیعی و محیط‌زیستی کمّی کرد.

در این مطالعه هدف بهینه‌سازی اختصاص بهترین مساحت برای انواع محصولات زراعی استان بر اساس ویژگی‌های اقتصادی- اجتماعی، محیط‌زیستی و مدیریتی (ضریب حمایت سیاستی) و اولویت‌بندی محصولات بر مبنای آن‌ها و محدودیت‌های مساحت اراضی بوده است. اهداف اقتصادی و فنی نیز در قالب برخی پارامترها مانند تولید شغل، نیاز به ماشین‌آلات و سود به هزینه مورد توجه قرارگرفت. با وجود این، نتایج تحقیق نشان داد که در زمینهٔ کشت محصولات کشاورزی در سطح کشور نیاز است اطلاعات جامعی از شرایط اکولوژیکی و اقتصادی- اجتماعی، همچنین خط‌مشی‌های سیاستگذاری ملی در رابطه با تمامی محصولات در هر منطقه تهیه شود تا بر اساس آن‌ها بتوان پتانسیل هر منطقه را برای کشت محصولات کشاورزی مشخص کرد. نبود اطلاعات منسجم و واقعی از میزان مصرف کود و سم و نیز تغییرات آن بر اساس تغییرات آب‌وهوایی یکی از محدودیت‌های این پژوهش بوده است. همچنین، توافق نسبی بر سر ضریب حمایت سیاستی پس از گفتگوهای فراوان با مسئولان در استانداری به‌دست آمد که باز هم نیاز به بررسی بیشتر دارد.

با توجه به نقش مهم و اساسی کشاورزی در تأمین مواد غذایی انسان و ایجاد تعادل در امنیت غذایی، اجتماعی و سیاسی کشورهای جهان، همچنین بر اساس نتایج این مطالعه ضروری است که کاشت محصولات کشاورزی در استان گلستان مطابق با شرایط بوم‌شناختی و برنامه‌ریزی مناسب مدیریتی صورت پذیرد تا بتوان کارایی و پایداری اقتصاد کشاورزی استان را افزایش داد. این پژوهش نشان می‌دهد که مسئولان، مدیران، کارشناسان و کشاورزان استان در این زمینه می‌توانند به کمک نتایج به‌دست آمده و حتی تغییر برخی معیارها در قالب نرم‌افزار پشتیبان تصمیم، به آگاهی بهتری در زمینهٔ بهینه‌سازی سطح زیر کشت هر محصول و به خدمات و تجهیزات منطبق با داشته‌های موجود در بخش کشاورزی دست یابند. یقیناً این امر در بهبود اوضاع کشاورزی استان منطبق با شرایط بومی مفید واقع می‌شود. همچنین، پس از حک و اصلاح روش می‌توان آن را برای سایر استان‌ها نیز به‌کار گرفت و سرانجام با استفاده از نتایج کشوری به نوعی تقسیم کار استانی و کشوری دست‌یافت تا از رهگذر آن محیط‌زیست کشور حفظ شود و هم‌زمان بهترین محصولات با بیشترین کارایی در مناسب‌ترین مکان‌ها کشت شود که با خود ضمن شکوفایی اقتصادی در زمینهٔ کشاورزی، موجبات بهبود وضعیت معیشت کشاورزان را به‌همراه خواهد آورد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، مراتب تقدیر و تشکر خود را از اساتید محترم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، همچنین مسئولان و کارشناسان محترم استانداری و ادارهٔ جهاد کشاورزی استان گلستان به‌دلیل مساعدت در امر تهیهٔ اطلاعات و تدوین این تحقیق اعلام می‌دارند.

یادداشت‌ها

1. Analytical Hierarchy Process
2. Multi Criteria Analysis Tool
3. Linear
4. Convex
5. Concave
6. Sigmoidal
7. Multi Criteria Analysis
8. Benefit and Cost Analysis
9. Compromise Programming

منابع

استانداری گلستان (معاونت برنامه‌ریزی استانداری گلستان). ۱۳۹۰. گزارشات سالانهٔ اقتصادی- اجتماعی و فرهنگی استان گلستان. ۳۱۵ ص.

باقریان، س.ع.، صالح، ا.، پیکانی، غ. ۱۳۸۶. بهینه‌سازی الگوی کشت در منطقهٔ کازرون با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی، ششمین همایش اقتصاد کشاورزی ایران.

پورخباز، ح.، جوانمردی، س.، یاوری، ا.، فرجی سبکبار، ح. ۱۳۹۲. کاربرد روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل تلفیقی ANP-DEMATEL در آنالیز تناسب اراضی کشاورزی (مطالعهٔ موردی: دشت قزوین)، محیط‌شناسی، سال ۳۹، شمارهٔ ۴، ص ۱۵۱-۱۶۴.

پورزند، ا. ۱۳۸۳. بهبود مدیریت مصرف آب اولین گام برای دستیابی به امنیت غذایی، یازدهمین همایش کمیتهٔ ملی آبیاری و زهکشی ایران، ص ۴۵۵-۴۶۸.

جهاد کشاورزی استان گلستان. ۱۳۹۳. گزارشات بخش کشاورزی استان گلستان.

چیذری، ا.، قاسمی، ع. ۱۳۷۸. کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی در تعیین الگوی کشت بهینهٔ محصولات زراعی، مجلهٔ اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۷، شمارهٔ ۲۸، ص ۶۱-۷۶.

حسین‌زاد، ج.، اصفهانی، س.ج. ۱۳۸۶. بررسی رابطهٔ الگوی کشت با شاخص مزیت نسبی و ضریب حمایت مؤثر (مطالعهٔ موردی: محصولات کشاورزی استان آذربایجان شرقی)، اقتصاد کشاورزی، دورهٔ ۱، شمارهٔ ۴، ص ۲۷۱-۲۷۸.

خداکرمی، ل.، سفیانیان، ع. ۱۳۹۱. کاربرد سنجش از دور چند زمانی در تعیین سطح زیر کشت، مجلهٔ علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۶، شمارهٔ ۵۹، ص ۲۱۵-۲۳۱.

زمانی، ا.، قادرزاده، ح.، مرتضوی، س. ا. ۱۳۹۳. تعیین الگوی کشت با تأکید بر مصرف بهینهٔ انرژی و کشاورزی پایدار (مطالعهٔ موردی شهرستان سقز استان کردستان)، دانش کشاورزی و تولید پایدار، دورهٔ ۲۴، شمارهٔ ۱، ص ۳۱-۴۳.

سخدری، ح.، صبوحی، م. ۱۳۹۱. کاربرد برنامه ریزی فراآرمانی در تعیین الگوی بهینهٔ کشت محصولات کشاورزی (مطالعهٔ موردی: شهرستان نیشابور)، نشریهٔ اقتصاد و توسعهٔ کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شمارهٔ ۴، ص ۱۵۰-۱۵۸.

سلمان ماهینی، ع.ر.، دهقانی، ا.ا.، سعدالدین، ا.، نعیمی، ب.، میرکریمی، س.ح.، نجفی‌نژاد، ع.، خرمالی، ف.، کامیاب، ح.ر. ۱۳۹۳. طرح آمایش استان گلستان، استانداری گلستان.

ضیائیان فیروزآبادی، پ.، صیاد بیدهندی، ل.، اسکندری نوده، م. ۱۳۸۸. تهیهٔ نقشه و تخمین سطح زیرکشت برنج در شهرستان ساری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای رادارست (RADARSAT)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شمارهٔ ۶۸، ص ۴۵-۵۸.

طهرانی، م.م.، بلالی، م.، مشیری، ف.، دریاشناس، ع. ۱۳۸۹. توصیه و برآورد کود در ایران: چالش‌ها و راهکارها، اولین کنگرهٔ چالش‌های کود در ایران: نیم رن مصرف کود، تهران، هتل المپیک.

عباس‌زاده تهرانی، ن.، بهشتی‌فر، م.، مربی، م. ۱۳۹۰. برآورد سطح زیر کشت محصول در استان قزوین با به‌کارگیری تصاویر چندزمانهٔ IRS-LISS III، پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۲، شمارهٔ ۴، ص ۸۷-۹۶.

عربی یزدی، ا.، علیزاده، ا.، محمدیان، ف. ۱۳۸۸. بررسی ردپای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی ایران. نشریهٔ آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۳، شمارهٔ ۴، ص ۱-۱۵.

فلاحی، ا.، خلیلیان، ص.، احمدیان، م. ۱۳۹۲. بهینه‌سازی الگوی کشت با تأکید بر محدودیت منابع آب (مطالعهٔ موردی: دشت سیدان فاروق شهرستان مرودشت)، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۵، شمارهٔ ۲، ص ۹۱-۱۱۵.

فیض‌آبادی، ی.، مقدسی، ر. ۱۳۸۶. برآورد معادلهٔ تعرفه و محاسبهٔ میزان بهینهٔ حمایت تعرفه‌ای در بخش کشاورزی، ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

کاظمی، ح. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی اراضی کشاورزی شهرستان گرگان جهت کشت جو لخت بر اساس منطق بولین، نشریهٔ تولید گیاهان زراعی، جلد ۶، شمارهٔ ۴، ص ۱۶۵-۱۸۵.

کاظمی، ح.، طهماسبی سروستانی، ز.، کامکار، ب.، شتایی، ش.، صادقی، س. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی اراضی استان گلستان جهت کشت سویا با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، نشریهٔ دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲۳، شمارهٔ ۴، ص ۲۱-۴۰.

کهنسال، م. ر.، فیروز زارع، ع. ۱۳۸۷. تعیین الگوی بهینهٔ کشت هم‌سو با کشاورزی پایدار با استفاده از برنامه‌ریزی فازی کسری با اهداف چندگانه (مطالعهٔ موردی: استان خراسان شمالی)، اقتصادکشاورزی و توسعه، شمارهٔ ۶۲، ص ۱-۳.

محمدی، ح.، بوستانی، ف.، کفیل‌زاده، ف. ۱۳۹۱. تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفهٔ غیرخطی فازی (مطالعهٔ موردی: آب و فاضلاب)، دورهٔ ۲۳، شمارهٔ ۴، ص ۴۲-۵۵.

محمدی، ا.، پاشایی اول، ع.، مساواتی، س.ا.، صادقی، س. ۱۳۸۶. ارزیابی تناسب کیفی اراضی برای محصولات عمدهٔ زراعی منطقهٔ گنبد کاووس، مجلهٔ علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۴، شماره ۵، ص ۹۹-۱۱۱.

مخدوم، م. ۱۳۸۴. شالودهٔ آمایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۸۹ص.

مرکز آمار ایران (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری ایران). ۱۳۹۲. آمارنامهٔ هزینه و درآمد خانوارهای شهری و روستایی.

مشایخی، س.، لشگری، ع. ۱۳۸۹. مطالعهٔ تطبیقی روند مصرف کود اوره در کشاورزی ایران و کشورهای توسعه‌یافته، اولین کنگرهٔ چالش‌های کود در ایران: نیم‌قرن مصرف کود، تهران، هتل المپیک.

نجاتی‌مقدم، ز.، بوزرجمهری، خ. ۱۳۹۱. بررسی اثرات نهاده‌های شیمیایی کشاورزی بر محیط‌زیست، اولین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست، تهران.

وزارت جهاد کشاورزی (دفتر آمار و فناوری اطلاعات معاونت امور برنامه‌ریزی، اقتصادی و بین‌المللی وزارت جهاد کشاورزی). ۱۳۸۶. آمارنامهٔ هزینهٔ تولید محصولات کشاورزی.

Hajkowicz, S.A. 2008. Supporting multi-stakeholder environmental decisions. Journal of Environmental Management, 88: 607-614.

Higgins, A.J. 2003. A comparison between existing and new heuristics using the knapsack problem. Proceedings of the 5th ASOR Queensland Conference.

Malczewski, J. 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis, New York, Wiley & Sons, 414 p.

Marinoni, O., Higgins, A., Hajkowicz, S., Collins, K. 2009. The multiple criteria analysis tool (MCAT): A new software tool to support environmental investment decision making. Environmental modeling and software, 24: 153-164.

Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrol. Earth Syst. Sci., 15: 1577–1600.

Pilehforooshha, P., Karimi, M., Taleai, M. 2014. A GIS-based agricultural land-use allocation model coupling increase and decrease in land demand. Agricultural Systems, 130: 116-125.

Poff, B., Tecle, A., Neary, D.G., Geils, B. 2010. Compromise programming in forest management. Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science, 42(1): 44-60.

Zeleny, M. 1973. 'Compromise programming', in Cocharane, J.L., Zeleny, M. (eds.) Multiple Criteria Decision Making, University of Southern Carolina Press, Columbia, 262-301.