نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۲۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳، ص. ۱۲۴-۱۱۸

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 28, No. 2, Summer 2014, p. 118-124

کاربرد برنامه ریزی چند هدفه آرمانی- فازی در بهینه سازی الگوی کشت با تأکید بر استفاده از روش های خاک ورزی حفاظتی

صمد عرفانی فر[۱*]- منصور زیبایی[۲]- مهدی کسرای[۳]

تاریخ دریافت :۱۳۹۲/۵/۲۷
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۱۱/۲۷

چکیده

در این مطالعه الگوهای کشت بهینه مبتنی بر اهداف انفرادی به همراه الگوی کشت چند هدفه و با تأکید بر روش های خاک ورزی حفاظتی در منطقه داراب با استفاده از روش برنامه ریزی چندهدفه آرمانی فازی ارائه گردیده است. اهداف انفرادی شامل حداکثر سازی بازده برنامه ای، حداقل کردن مصرف کود اوره، حداکثر سازی امنیت غذایی (تولید انرژی) و حداقل نمودن مصرف آب بود. نتایج نشان داد که در الگوی چند هدفه، شاخص های بازده برنامه ای و امنیت غذایی به ترتیب به میزان ۲۳/۵درصد و ۶/۱ درصد نسبت به الگوی فعلی افزایش و شاخص های مصرف انرژی و آب به ترتیب به میزان ۵/۲ درصد و ۴ درصد کاهش پیدا کرد. مجموع فاصله مرکب آرمانی الگوی مصالحه ای نسبت به الگوی جاری حدود ۳۶ درصد بهبود پیدا کرد. در این الگو روش های خاک ورزی حفاظتی جایگزین خاک ورزی مرسوم شدند و مقدار مصرف سوخت سالانه در مزرعه نماینده به میزان۲۷ درصد کاهش یافت. بنابراین جایگزینی الگوی کشت چند هدفه با الگوی جاری که در آن بر استفاده از روش های خاک ورزی حفاظتی تأکید شده است، می تواند نتایج مطلوبی از نظر اقتصادی و زیست محیطی را به دنبال داشته باشد.

واژه های کلیدی: خاک ورزی حفاظتی، برنامه ریزی چند هدفه آرمانی- فازی، بهینه سازی الگوی کشت، داراب

مقدمه

امروزه علاوه بر اهداف اقتصادی، اهمیت دادن به مسائل زیست محیطی نیز در مدیریت کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از روش بی خاک ورزی باعث کاهش مصرف آب و افزایش راندمان آبیاری می شود که می تواند به ویژه در مناطق خشک منجر به افزایش سطح زیر کشت و تولید بیش تر محصول گردد. حفظ بقایای گیاهی سطحی خاک در روش های خاک ورزی حفاظتی باعث افزایش ماده آلی خاک شده، که این امر باعث افزایش ظرفیت نگه داری آب توسط خاک، افزایش نفوذپذیری آب در خاک و کاهش فرسایش آبی خاک می شود (۱۳). پایداری خاک دانه ها و کاهش آب شویی نیتروژن نیز از پیامدهای مثبت خاک ورزی حفاظتی می باشد (۴).

با توجه به کاهش بارندگی در سال های اخیر در منطقه مورد مطالعه و افزایش سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی که برداشت از آب های زیرزمینی را تشدید نموده است، ارائه الگوی کشتی که بتواند با استفاده از مزایای خاک ورزی حفاظتی مصرف آب را بهینه نموده و از طرف دیگر بتواند با کاهش مصرف کودهای شیمیایی اثرات سوء زیست محیطی را کاهش دهد، مورد نیاز می باشد. در این مطالعه علاوه بر اهداف فوق، ارتقاء بازده برنامه ای الگوی کشت و توجه به تولید محصولاتی که سهم بیشتری در تأمین انرژی مورد نیاز جامعه را بر عهده دارند (امنیت غذایی)، مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به ماهیت چند هدفه این مطالعه، برنامه ریزی خطی متعارف که یک روش بهینه سازی تک هدفه می باشد، نمی تواند برای تصمیم گیری های چند هدفه مورد استفاده قرار گیرد. در این زمینه برنامه‌ریزی آرمانی یکی از ابزارهای برجسته برای تحلیل تصمیم گیری های چند هدفه می‌باشد (۱). بر خلاف مدل های برنامه ریزی خطی، روش برنامه ریزی آرمانی فازی با ایجاد انعطاف در آرمان ها، منابع را به نحو بهتری تخصیص می دهد (۲).

بررسی مطالعات نشان می دهد که روش های مختلف خاک ورزی از نظر مصرف انرژی (۱۰، ۱۲ و ۱۴)، عملکرد محصول (۷و ۸)، بازده اقتصادی (۹، ۱۱ و ۱۵)، مصرف آب و راندمان آبیاری (۶) و آثار زیست محیطی (۳ و ۴) با یکدیگر تفاوت معنی داری دارند.

۱- مربی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز و دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: Email: erfanifar@shirazu.ac.ir)
۲- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۳- استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

در اکثر تحقیقات انجام شده از طرح های کنترل شده آزمایشی جهت بررسی اثرات روش های مختلف خاک ورزی استفاده شده است و تاکنون مطالعه ای برای تعیین الگوی بهینه کشت با در نظر گرفتن روش های مختلف خاک ورزی (مرسوم، کم خاک ورزی و بی خاک ورزی) با استفاده از برنامه ریزی ریاضی انجام نشده است. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات و آمار جمع آوری شده به روش تحقیق پیمایشی (روش نمونه گیری خوشه ای تصادفی) و مطالعات اسنادی و با بکارگیری روش برنامه ریزی آرمانی فازی، امکان جایگزینی روش های مختلف خاک ورزی حفاظتی (بی خاک ورزی و کم خاک ورزی) در تدوین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی (حداکثر سازی بازده برنامه ای) و زیست محیطی (کاهش مصرف آب و کود شیمیایی) در کنار توجه به امنیت غذایی جامعه (حداکثر سازی تولید انرژی) در شهرستان داراب استان فارس مورد بررسی قرار گرفته است.

بانک جهانی امنیت غذایی را «دسترسی همه مردم در تمام اوقات، به غذای کافی برای داشتن یک زندگی سالم» تعریف می‌کند. سه عنصر «موجود بودن غذا»، «*دسترسی* به غذا» و «پایداری در دریافت غذا» محورهای اصلی این تعریف می‌باشند که «موجود بودن غذا» شامل میزان مواد غذایی در مرزهای ملی از طریق تولید داخلی و واردات مواد غذایی می‌باشد. در این مطالعه هدف حداکثر سازی امنیت غذایی به مفهوم تعیین الگوی کشتی است که بیش ترین کالری را برای تأمین انرژی جامعه به همراه داشته باشند.

مواد و روش‌ها

افزایش بازده برنامه‌ای در کنار کاهش مصرف آب، کاهش مصرف کود شیمیائی و افزایش امنیت غذایی از راه انتخاب روش های مختلف خاک ورزی در الگوی کشت محصولات زراعی، از اهداف مطالعه جاری در محدوده مطالعاتی بوده است. برای متجانس کردن این اهداف از منطق فازی استفاده شد. الگوی در نظر گرفته شده برای مطالعه جاری بر اساس حداقل سازی فاصله مرکب فازی اهداف یاد شده از حد آرمانی هر یک از اهداف انفرادی طراحی گردید. فرم عمومی این الگو به صورت روابط ۱ تا ۶ می باشد (۵):

$$Min: \lambda = \left[\sum_{j=1}^{M} w_j {\lambda_j}^{q}\right]^{\frac{1}{q}} \qquad (۱)$$

Subject to:

$$\lambda_j (Z_j^{Max} - Z_j^{Min}) + Z_j(x^*) \le Z_j^{Max} \qquad (۲)$$
$$When \quad Z_j^{Max} \; is \quad best$$

$$Z_j(x^*) - \lambda_j (Z_j^{Max} - Z_j^{Min}) \ge Z_j^{Min} \qquad (۳)$$
$$When \quad Z_j^{Min} \; is \quad best$$

$$\sum_i \sum_t A_{hit} x_{it} \le B_h \qquad (۴)$$

$$x_{it} \ge 0 \qquad (۵)$$

$$0 \le \lambda \le 1 \qquad (۶)$$

i= ۱, ۲, … , ۷ t= ۱, ۲, ۳ j= ۱,۲,۳, ۴ h = ۱,۲

در روابط بالا، x_{it} سطح زیر کشت محصول i ام در روش خاک ورزی t ام و λ_j فاصله تا حد آرمانی هدف j ام از متغیرهای تصمیم الگو هستند که باید مقادیر بهینه آن ها پس از حل آن به دست آیند. روش‌های خاک ورزی عبارتند از: ۱- خاک ورزی مرسوم، ۲- کم خاک ورزی و ۳- بی خاک ورزی. رابطه ۱ تابع هدف الگو می باشد که در آن λ جمع موزون (مرکب) آرمانی اهداف مورد نظر در مطالعه جاری است که هدف، حداقل کردن آن است. در این رابطه، w_j وزن هدف j ام و q عامل تعادلی اهداف است. ($w_j \ge 0$ ، $\sum_{j=1}^{M} w_j = 1$) این عامل به نوعی درجه جانشینی بین اهداف را مشخص می کند. در حالت q برابر ۱، بیشترین درجه جانشینی و در حالت q برابر ۳، اهداف از کم ترین درجه جانشینی برخوردارند. روابط ۲ و ۳ توابع عضویت اهداف یاد شده را در الگوی مورد مطالعه مشخص می کنند. در این روابط، $Z_j^{\min}$ ، $Z_j^{\max}$ و $Z_j(x^*)$ به ترتیب حداقل، حداکثر و مقدار بهینه هدف j ام و x^* جواب بهینه است و اختلاف $Z_j^{\max}$ و $Z_j^{\min}$ به عنوان حد تحمل تعریف می شود. رابطه ۲ برای عضویت اهداف آرمانی حداکثر شدن (بازده برنامه ای و امنیت غذایی) در نظر گرفته می‌شود در حالی که رابطه ۳ برای اهدافی مورد استفاده قرار می گیرد که مقدار آرمانی آن ها حداقل شدن (آب و کود شیمیائی) است. در اینجا فرض بر آن است که مقدار بحرانی هر یک از اهداف ($Z_j^{\min}$ برای رابطه ۲ و $Z_j^{\max}$ برای رابطه ۳) شرایط جاری منطبق با الگوی کشت فعلی بهره برداران است. بنابراین مقدار بهینه تعیین شده توسط الگو ($Z_j(x^*)$) نباید از این حد بحرانی کم تر (برای آرمان های حداکثر شدن) یا بیشتر (برای آرمان های حداقل شدن) باشد. به این ترتیب مقدار آرمانی هر یک از اهداف ($Z_j^{\max}$ برای رابطه ۲ و $Z_j^{\min}$ برای رابطه ۳) باید براساس یک فرایند بهینه سازی تک هدفه به دست آید. مجموع روابط ۱ تا ۳ مشروط بر محدودیت های فنی در قالب رابطه ۴ در نظر گرفته می شوند. در این رابطه، A_{hit} ضریب فنی i امین محصول برای h امین محدودیت (منابع تولید) و t امین روش خاک ورزی و B_h، موجودی h امین محدودیت (منابع تولید) در الگو می باشد. محدویت های الگو شامل

محدودیت زمین، آب و محدودیت‌های خاص روش حل مقید برنامه-ریزی چند هدفی (شامل محدودیت سطح بازده برنامه‌ای مشخص) می باشد.

برای تشکیل توابع عضویت چهار هدف انفرادی، ابتدا مقادیر بهینه یا آرمانی برای هر یک از اهداف انفرادی تعیین گردید. منظور از مقدار بهینه، حداکثر بازده برنامه‌ای (Z_1)، حداقل مصرف آب (Z_2)، حداقل مصرف کود شیمیائی اوره (Z_3) و حداکثر کردن امنیت غذایی (Z_4) است. این مقادیر در قالب یک الگوی برنامه ریزی تک هدفه مشروط بر محدودیت های موجود (روابط ۴ و ۵) تعیین گردیدند. به این ترتیب، با توجه به فازی سازی اهداف مطالعه و تلاش برای تحقق یک آرمان کلی بر اساس حداقل کردن مقدار تابع فاصله مرکب آرمانی آن ها، ساختار مدل تصمیم گیری به شکل یک مدل برنامه ریزی فازی چند هدفه که امکان مصالحهٔ چند هدف را بطور توأم، مشروط بر محدودیت منابع فراهم می نماید طراحی گردید. در این مطالعه به منظور وزن دهی اهداف مورد نظر از شیوه مورد استفاده در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. برای بدست آوردن وزن نسبی هر یک از اهداف، با مصاحبه با کارشناسان بخش کشاورزی و کشاورزان منطقه ، ماتریس مقایسه های زوجی بین اهداف مورد مطالعه تشکیل گردید و با استفاده از این ماتریس ها و در نظر گرفتن وزن یکسان برای نظرات کشاورزان و کارشناسان، وزن اهداف حداکثر بازده برنامه ای، حداقل مصرف آب، حداقل مصرف کود و حداکثر امنیت غذایی به ترتیب ۴۵، ۲۰، ۱۰ و ۲۵ درصد محاسبه و در الگوی چند هدفه اعمال گردید.

در سال های اخیر، خاک ورزی حفاظتی و به ویژه بی خاک ورزی در بخش مرکزی شهرستان داراب مورد استقبال قرار گرفته است و تقریباً در تمامی آبادی های این بخش کشاورزانی وجود دارند که کاربرد روش های خاک ورزی حفاظتی شامل کم خاک ورزی و بی خاک ورزی را تجربه کرده اند. به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، جمع آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه به روش تحقیق پیمایشی[1] و مطالعات اسنادی انجام گرفت. به منظور انتخاب نمونه مناسب از روش نمونه گیری خوشه‌ای تصادفی[2] استفاده شد. در این مطالعه کشاورزان بخش مرکزی شهرستان داراب در استان فارس که روش های خاک ورزی حفاظتی را تجربه کرده بودند، جامعه آماری مطالعه را تشکیل دادند. بر این اساس در مرحلهٔ اول، با توجه به آمارنامه کشاورزی، سطح زیر کشت محصولات به روش خاک ورزی حفاظتی برای آبادی های مختلف استخراج گردید و بر اساس این متغیر خوشه‌هایی به صورت تصادفی انتخاب گردیدند. این خوشه‌ها همان آبادی‌های منطقه مورد مطالعه (بخش مرکزی شهرستان داراب) بودند. درمرحله بعد لیستی از کلیه بهره برداران کشاورزی آبادی های انتخاب شده، تهیه گردید و تعدادی از کشاورزان هر آبادی به صورت تصادفی انتخاب و اطلاعات مورد نیاز از آن ها با انجام مصاحبه و تکمیل پرسش نامه در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ جمع آوری گردید.

نتایج و بحث

الگوهای بهینه زراعی با اهداف متفاوت

جدول ۱ سطح زیر کشت محصولات زراعی در الگوی های مختلف با اهداف متفاوت را نشان می دهد. در الگوی زراعی جاری بالاترین سطح زیر کشت با مقدار ۱۱/۷ هکتار مربوط به محصول گندم می باشد و محصولات ذرت و پنبه به ترتیب با سطوح زیر کشت ۵/۱ و ۲/۲ هکتار در رتبه های بعدی قرار دارند و در بین روش های مختلف خاک ورزی، خاک ورزی مرسوم بیش ترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است. گندم کم خاک ورزی با ۴/۵ هکتار مساحت بالاترین سطح زیر کشت را در این روش خاک ورزی به خود اختصاص داده است. به دلیل آن که هزینه عملیات آماده سازی زمین در روش خاک ورزی مرسوم نسبت به سایر روش های خاک ورزی بالاتر و همچنین بازده برنامه ای آن نیز نسبت به روش کم خاک ورزی کم تر است، در تمامی الگوهای مورد بررسی به جز الگوی فعلی روش خاک ورزی مرسوم از برنامه زراعی محصولات گندم، ذرت و پنبه حذف و روش های کم خاک ورزی و بی خاک ورزی جایگزین آن شده است. در الگوی زراعی با هدف حداکثر سازی بازده برنامه ای سطح زیر کشت گندم در روش های کم خاک ورزی و بی خاک ورزی به ترتیب از ۴/۵ و ۱ هکتار به ۵/۵ و ۲/۶ هکتار افزایش یافته است. محصول ذرت نیز با ۱/۹ هکتار کاهش سطح زیر کشت با مقدار ۳/۲ هکتار در روش کم خاک ورزی در برنامه حضور دارد. سطح زیر کشت محصول پنبه به دلیل داشتن بازده برنامه ای مطلوب از ۲/۲ هکتار به ۴/۷ هکتار افزایش یافته است. سطح زیر کشت محصولات سیب زمینی، خربزه و خیار نیز افزایش نشان می دهند. در بهینه سازی الگوی کشت در سایر اهداف داشتن حداقل بازده برنامه ای معادل بازده برنامه ای الگوی جاری به عنوان محدودیت وارد مدل شده است. در الگوی حداقل سازی مصرف آب، سطح زیر کشت محصولات گندم و ذرت با الگوی حداکثر سازی بازده برنامه ای یکسان است ولی سطح زیر کشت محصول پنبه حتی نسبت به وضعیت جاری نیز کاهش یافته است. در الگوی زراعی حداقل سازی مصرف کود اوره، ترکیب کشت محصول گندم در روش های مختلف خاک ورزی با الگوهای حداقل مصرف آب و حداکثر بازده برنامه ای یکسان است. در این الگو محصول ذرت فقط با روش کشت مستقیم وارد الگو شده است و سطح زیر کشت محصول پنبه نسبت به وضعیت فعلی افزایش یافته و محصول سیب

1- Survey Research
2- Cluster Random Sampling

زمینی نیز از الگوی کشت بهینه حذف شده است. در الگوی زراعی حداقل سازی مصرف کود اوره، ترکیب کشت محصول گندم با الگوهای حداقل مصرف آب و حداکثر بازده برنامه ای یکسان است. در این الگو محصول ذرت فقط با روش کشت مستقیم وارد شده و سطح زیر کشت محصول پنبه نسبت به وضعیت فعلی افزایش یافته است. محصول سیب زمینی نیز از الگوی کشت بهینه حذف شده است. در الگوی زراعی با هدف حداکثر سازی امنیت غذایی به دلیل اهمیت راهبردی محصول گندم در تأمین امنیت غذایی جامعه، سطح زیر کشت آن در روش های کم خاک ورزی و بی خاک ورزی به ترتیب ۸/۸ و ۲/۶ هکتار است. در این الگو محصولات ذرت و جو نیز به ترتیب با سطوح زیر کشت ۶/۸ و ۲ هکتار وارد الگوی بهینه شده اند . در الگوی کشت چند هدفه جمع سطح زیر کشت گندم در روش های کم خاک ورزی و بی خاک ورزی معادل ۸/۱ هکتار است. در این الگو محصول ذرت فقط با روش کم خاک ورزی با سطحی معادل ۶/۶ هکتار وارد برنامه زراعی شده که با سطح زیر کشت آن در هدف حداکثر سازی امنیت غذایی تقریباً برابر است ولی از سطح زیر کشت آن در برنامه جاری (۵/۱ هکتار) بیش تر است. نکته قابل توجه این است که روش های خاک ورزی مرسوم در هیچ یک از اهداف مورد بررسی در محصولات گندم، ذرت و پنبه وارد برنامه زراعی نشده اند. در دو هدف حداقل مصرف آب و حداقل مصرف کود اوره سطح زیر کشت الگوی زراعی پیشنهادی مدل به ترتیب مساوی ۱۶/۱ و ۱۶ هکتار است که نسبت به سطح زیر کشت الگوی زراعی جاری حدود ۲۵ درصد کاهش نشان می دهد. کل سطح زیر کشت الگوی زراعی فعلی ۲۱/۱ هکتار است. کل سطح زیر کشت در هدف حداکثر سازی بازده برنامه ای معادل ۱۹/۵ هکتار و برای الگوی چند هدفه برابر با ۲۰/۷ هکتار است. سطح زیر کشت الگوی چند هدفه بیش ترین نزدیکی را با سطح زیر کشت فعلی دارد.

تأثیر الگوهای زراعی با اهداف متفاوت بر شاخص های مختلف مزرعه نماینده

جدول ۲ مقادیر شاخص های بازده برنامه ای، مصرف آب، مصرف کود اوره و امنیت غذایی برای هر یک از الگوهای زراعی بدست آمده از بهینه سازی اهداف پنج گانه (چهار هدف انفرادی و هدف مصالحه ای) و نیز الگوی زراعی فعلی را نشان می دهد. مقادیر شاخص های فوق برای الگوی زراعی جاری بعنوان مقادیر بحرانی و برای الگوهای زراعی بدست آمده از بهینه سازی اهداف انفرادی بعنوان مقادیر آرمانی در نظر گرفته شده اند.

جدول ۱-ترکیب کشت در الگوهای زراعی با اهداف متفاوت (واحد : هکتار)

نام محصول	روش کشت	هدف الگو					
		وضعیت فعلی	حداکثر بازده برنامه ای	حداقل مصرف آب	حداقل مصرف کود اوره	حداکثر امنیت غذایی	الگوی چند هدفه (مصالحه ای)
گندم	مرسوم	۶/۲	۰	۰	۰	۰	۰
	کم خاک ورزی	۴/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۸/۸	۵/۵
	مستقیم	۱	۲/۶	۲/۶	۲/۶	۲/۶	۲/۶
ذرت	مرسوم	۲/۸	۰	۰	۰	۰	۰
	کم خاک ورزی	۱/۸	۳/۲	۳/۲	۰	۳/۲	۶/۶
	مستقیم	۰/۵	۰	۰	۳/۲	۳/۶	۰
پنبه	مرسوم	۱/۲	۰	۰	۰	۰	۰
	کم خاک ورزی	۰/۶	۳/۵	۰/۱	۱/۸	۰	۰
	مستقیم	۰/۴	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۰	۱/۰
جو	مرسوم	۱/۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۲/۰	۲/۰
سیب زمینی	مرسوم	۰/۵	۱/۰	۱/۰	۰	۱/۰	۱/۰
خربزه	مرسوم	۰/۳	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۰/۳	۱/۰
خیار	مرسوم	۰/۳	۱/۰	۱/۰	۰/۲	۰/۲	۱/۰
جمع	مرسوم	۱۲/۳	۳/۵	۳/۵	۱/۷	۳/۵	۵/۰
	کم خاک ورزی	۶/۹	۱۲/۲	۸/۸	۷/۳	۱۲/۰	۱۲/۱
	مستقیم	۱/۹	۳/۸	۳/۸	۷/۰	۷/۲	۳/۶
	کل	۲۱/۱	۱۹/۵	۱۶/۱	۱۶/۰	۲۲/۷	۲۰/۷

ماخذ: یافته های پژوهش

همچنین فاصله هر یک از شاخص های مذکور از مقادیر بحرانی به عنوان "فاصله تا بحران" و فاصله آن ها از مقادیر آرمانی به عنوان "فاصله تا آرمان"، برای وضعیت فعلی الگوی زراعی و هر یک از اهداف مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است. در الگوی حداکثر سازی بازده برنامه ای، شاخص بازده برنامه ای به طور کامل تحقق یافته و مصرف کود نسبت به وضع موجود ۱۴۷۶ کیلوگرم کاهش یافته است ولی شاخص مصرف آب در حد بحرانی است و شاخص امنیت غذایی از حد بحرانی کم تر شده است. در الگوی حداقل کننده مصرف آب، شاخص مصرف آب در حد آرمانی است و مصرف کود اوره نسبت به الگوی جاری به مقدار ۲۱۵۴ کیلوگرم کاهش یافته است ولی بازده برنامه ای آن در حد الگوی جاری است. در الگوی حداقل سازی مصرف کود، آرمان حداقل کننده مصرف کود تأمین شده است و مصرف آب به مقدار ۵۹ هزار متر مکعب نسبت به الگوی جاری کاهش نشان داده و شاخص بازده برنامه ای در حد الگوی فعلی باقی مانده و شاخص امنیت غذایی نسبت به وضع موجود ضعیف تر شده است. با توجه به کاهش قابل ملاحظه مصرف آب در الگوی حداقل کننده مصرف کود می توان نتیجه گرفت که رابطه مکملی بین نهاده های آب و کود در کشت محصولات منطقه وجود دارد به گونه ای که با تغییر الگوی زراعی به سمت محصولات با نیاز کودی کم تر، مصرف آب نیز کاهش یافته است.

کم ترین میزان مصرف آب بعد از الگوی زراعی با هدف حداقل مصرف آب، در الگوی زراعی حداقل مصرف کود وجود دارد و فاصله آن تا آرمان ۱۰ هزار متر مکعب است. میزان مصرف کود برای الگوهای زراعی با اهداف حداکثر بازده برنامه ای، حداقل مصرف آب و حداقل مصرف کود از میزان مصرف کود در الگوی فعلی کم تر است. در الگوی حداکثر امنیت غذایی، شاخص های بازده برنامه ای، مصرف آب و مصرف کود در حد بحرانی هستند ولی شاخص امنیت غذایی در حد آرمانی است. مجموعه فاصله تا آرمان های مورد نظر باعث شده است که فاصله مرکب آرمانی برای الگوی حداکثر سازی امنیت غذایی به میزان ۲۵ درصد بهبود یابد. شاخص امنیت غذایی در تمامی الگوها به جز الگوی مصالحه ای و الگوی حداکثرسازی امنیت غذایی نسبت به وضع موجود کاهش یافته است.

جدول۲- نتایج عملکرد الگوهای مورد بررسی بر شاخص های مختلف مزرعه نماینده

شرح متغیر	هدف الگو					
	وضعیت فعلی	حداکثر بازده برنامه‌ای	حداقل مصرف آب	حداقل مصرف کود اوره	حداکثر امنیت غذایی	الگوی چند هدفه (مصالحه ای)
نام شاخص						
بازدۀ برنامه‌ای (هزار ریال)	۳۰۳۸۸۶	۴۴۶۶۸۶	۳۰۳۸۸۶	۳۰۳۸۸۶	۳۰۳۸۸۶	۳۷۵۳۶۷
مصرف آب (هزار مترمکعب)	۲۵۱	۲۵۱	۱۸۲	۱۹۲	۲۵۱	۲۴۱
مصرف کود اوره (کیلوگرم)	۹۰۷۹	۷۶۰۲	۶۹۲۵	۵۵۶۶	۹۰۷۹	۹۰۷۹
امنیت غذایی (کیلو کالری)	۳۶۸۹۸۰	۲۶۴۵۶۱	۲۶۴۵۶۱	۲۲۳۴۹۹	۴۲۴۲۱۴	۳۹۱۴۲۴
فاصله تا آرمان						
حداکثر بازده برنامه‌ای (هزار ریال)	-۱۴۲۸۰۰	۰	-۱۴۲۸۰۰	-۱۴۲۸۰۰	-۱۴۲۸۰۰	-۷۱۳۱۹
حداقل مصرف آب (هزار متر مکعب)	۶۹	۶۹	۰	۱۰	۶۹	۵۹
حداقل مصرف کود اوره(کیلوگرم)	۳۵۱۳	۲۰۳۷	۱۳۵۹	۰	۳۵۱۳	۳۵۱۳
حداکثر امنیت غذایی (کیلو کالری)	-۵۵۲۳۴	-۱۵۹۶۵۳	-۱۵۹۶۵۳	-۲۰۰۷۱۶	۰	-۳۲۷۹۱
فاصله تا حد بحرانی						
بازده برنامه‌ای (هزار ریال)	۰	۱۴۲۸۰۰	۰	۰	۰	۷۱۴۸۱
مصرف آب (هزار متر مکعب)	۰	۰	-۶۹	-۵۹	۰	-۱۰
مصرف کوداوره(کیلوگرم)	۰	-۱۴۷۶	-۲۱۵۴	-۳۵۱۳	۰	۰
امنیت غذایی (کیلو کالری)	۰	-۱۰۴۴۱۹	-۱۰۴۴۱۹	-۱۴۵۴۸۱	۵۵۲۳۴	۲۲۴۴۴

ماخذ: یافته های پژوهش

در الگوی مصالحه کننده اهداف، فاصله تا آرمان برای هیچ یک از شاخص های مورد مطالعه صفر نیست به عبارت دیگر هیچ کدام از آرمان ها به طور کامل تحقق نیافته اند ولی در عین حال شاخص های بازده برنامه ای، امنیت غذایی و مصرف آب از حد بحرانی خود فاصله گرفته، هر کدام به ترتیب به میزان ۵۰ ، ۴۱ و ۱۴/۵ درصد فاصله آرمانی خود، نسبت به وضعیت جاری بهبود یافته اند. میزان مصرف کود در حد الگوی جاری باقی مانده است. مجموعه این فواصل باعث شده است که الگوی مصالحه کننده اهداف ۳۶ درصد فاصله مرکب آرمانی را تحقق بخشد که در مقایسه با سایر الگوهای مورد مطالعه در وضعیت مطلوب تری قرار دارد.

درصد تغییرات شاخص های مورد بررسی در الگوهای مختلف زراعی نسبت به الگوی جاری

جدول ۳ درصد تغییرات شاخص های مورد بررسی در الگوهای مختلف زراعی نسبت به الگوی جاری را نشان می دهد. بر اساس اطلاعات جدول مذکور، الگوی حداکثر کننده بازده برنامه ای توانسته است بازده برنامه ای الگوی جاری را ۴۷ درصد افزایش دهد و همزمان مصرف کود و انرژی را به ترتیب ۱۶/۳ و ۲ درصد کاهش دهد ولی مقدار کالری تولیدی را ۲۸/۳ درصد کاهش می دهد. در صورت اجرای الگوی زراعی با هدف حداقل کردن مصرف آب، بازده برنامه ای در حد الگوی فعلی حفظ شده و در مصرف آب ۲۷/۵ درصد صرفه جویی ایجاد می شود و این الگو همزمان مصرف کود اوره و انرژی را به ترتیب به میزان ۲۳/۷ و ۲۸/۵ درصد کاهش می‌دهد ولی میزان انرژی تولیدی برای تأمین کالری مورد نیاز جامعه را ۲۸/۳ درصد کاهش می دهد، که این مطلب بیانگر این است که اهداف حداقل سازی مصرف آب و حداکثر سازی امنیت غذایی جامعه با یکدیگر در تضاد هستند. با اجرای الگوی مصالحه کننده اهداف، بازده برنامه ای معادل ۲۳/۵ درصد نسبت به وضع موجود افزایش و مصرف انرژی نیز معادل ۵/۲ درصد کاهش می یابد. همچنین میزان کالری تولیدی نیز به مقدار ۶/۱ درصد نسبت به الگوی جاری افزایش نشان می دهد. مقدار کاهش مصرف آب در الگوی مصالحه ای بیش از ۱۰ هزار متر مکعب در طول یک سال زراعی می باشد که ۴ درصد در مصرف آب صرفه جویی ایجاد می گردد.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از بهینه سازی الگوی کشت در الگوی مصالحه کننده اهداف، نشان داد که روش های خاک ورزی مرسوم در هر سه محصول گندم، ذرت و پنبه از برنامه زراعی حذف شده و محصول ذرت در روش کم خاک ورزی و پنبه با روش کشت مستقیم در برنامه کشت وارد شدند. کل سطح زیر کشت در الگوی مصالحه ای نسبت به الگوی جاری برای محصول پنبه ۵۵ درصد کاهش، برای ذرت ۲۹ درصد افزایش و در گندم نیز۳۱ درصد کاهش نشان داد، این در حالی است که سطح کل زیر کشت زراعی نسبت به الگوی جاری فقط ۲ درصد کاهش یافت.

جدول ۳- درصد تغییرات شاخص های مورد بررسی در الگوهای مختلف زراعی نسبت به الگوی جاری

هدف الگو	شاخص ها				
	مصرف آب (هزار متر مکعب)	بازده برنامه ای (هزار ریال)	مصرف کود اوره (کیلوگرم)	کالری تولیدی (کیلو کالری)	انرژی مصرفی (گیگا ژول)
وضعیت فعلی	۲۵۱	۳۰۳۸۸۶	۹۰۷۹	۳۶۸۹۸۰	۱۴۰۴/۴
حداکثر بازده برنامه ای	۲۵۱	۴۴۶۶۸۶	۷۶۰۲	۲۶۴۵۶۱	۱۳۷۶/۲
حداقل مصرف آب	۱۸۲	۳۰۳۸۸۶	۶۹۲۵	۲۶۴۵۶۱	۱۰۰۳/۷
حداقل مصرف کود اوره	۱۹۲	۳۰۳۸۸۶	۵۵۶۶	۲۲۳۴۹۹	۱۰۴۷/۲
حداکثر امنیت غذایی	۲۵۱	۳۰۳۸۸۶	۹۰۷۹	۴۲۴۲۱۴	۱۳۷۹/۱
الگوی چند هدفه (مصالحه ای)	۲۴۱	۳۷۵۳۶۷	۹۰۷۹	۳۹۱۴۲۴	۱۳۳۱/۱
تغییرات نسبت به وضعیت فعلی (درصد)					
حداکثر بازده برنامه ای	۰	۴۷	-۱۶/۳	-۲۸/۳	-۲/۰
حداقل مصرف آب	-۲۷/۵	۰	-۲۳/۷	-۲۸/۳	-۲۸/۵
حداقل مصرف کود اوره	-۲۳/۴	۰	-۳۸/۷	-۳۹/۴	-۲۵/۴
حداکثر امنیت غذایی	۰	۰	۰	۱۵/۰	-۱/۸
الگوی چند هدفه (مصالحه ای)	-۴/۰	۲۳/۵	۰	۶/۱	-۵/۲

ماخذ: یافته های پژوهش

اجرای الگوی مصالحه ای نسبت به الگوی فعلی باعث افزایش بهره وری آب، انرژی و کود به ترتیب به میزان ۲۸/۵، ۳۱ و ۲۳/۵ درصد گردید. در این الگو شاخص های بازده برنامه ای، امنیت غذایی و مصرف آب از حد بحرانی فاصله گرفته و هر کدام نسبت به فاصله آرمانی اهداف انفرادی خود به ترتیب به میزان ۵۰، ۴۱ و ۱۴/۵ درصد بهبود یافته اند. مجموع فواصل آرمانی شاخص های مورد مطالعه باعث شد که فاصله مرکب آرمانی الگوی مصالحه کننده اهداف نسبت به الگوی فعلی ۳۶ درصد افزایش یابد که در مقایسه با سایر الگوهای در نظر گرفته شده در وضعیت مناسب تری قرار دارد.

منابع

۱- آذر ع. و فرجی ح. ۱۳۸۱. علم مدیریت فازی. انتشارات اجتماع، تهران.

۲- اسدپور ا. ۱۳۸۴. نظریه و کاربرد مدل برنامه ریزی فازی در تولید محصولات زراعی. فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه، ویژه نامه بهره وری و کارآیی، ۳۲۸-۳۰۷.

3- Basso B., Artori L., Bertocco M., Cammarano D., Martin E.C. and Grace P.R. 2011. Economic and environmental evaluation of site-specific tillage in a maize crop in NE Italy. European Journal of Agronomy, 35: 83–92.

4- Basso B., Ritchie J.T, Grace P.R. and Sartori L. 2006. Simulation of Tillage systems impact on soil biophysical properties using the SALUS model. Italian Journal of Agronomy, 4: 677-688.

5- Bender M.J. and Simonovic S.P. 2000. A fuzzy compromise approach to water resource systems planning under uncertainty. Fuzzy Sets and Systems, 115: 35-44.

6 Hatfield J.L., Sauer T.J. and Prueger J.H. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency. Review of Agronomy Journal, 93: 271–280.

7- Hemmat A. and Taki O. 2001. Grain yield of irrigated winter wheat as affected by stubble-tillage management and seeding rates in central Iran. Soil and Tillage Research, 63: 57–64.

8- Javadi A., Rahmati M.H. and Tabatabaeefar A. 2009. Sustainable tillage methods for irrigated wheat production in different regions of Iran. Soil and Tillage Research, 104 : 143–149.

9- Khakbazan M. and Hamilton C. 2012. Economic evaluation of tillage management practices at the watershed scale in southern Manitoba. Soil and Tillage Research, 118: 40 - 51.

10- Mileusnic Z.I., Petrovic D.V. and Devic M.S. 2010. Comparison of tillage systems according to fuel consumption. Energy, 35: 221–228.

11- Sakine O. 2006. Effects of tillage systems on weed population and economics for winter wheat production under the Mediterranean dryland conditions. Soil and Tillage Research, 87: 1–8.

12- Sanchez-Giron V., Serrano A., Suarez M., Hernanz J. L. and Navarrete L. 2007. Economics of reduced tillage for cereal and legum production on rainfed farm enterprise of different size in semiarid conditions. Soil and Tillage Research, 95: 149-160.

13- Senthilkumar S., Basso B., Kravchenko A. N. and Robertson G. P. 2009. Contemporary evidence of soil carbon loss in the U.S. Corn Belt. American Journal of Soil Science Society, 73: 2078–2086.

14- Singh K.P., Prakash V., Srinivas K. and Srivastva A.K. 2008. Effect of tillage management on energy-use efficiency and economics of soybean (Glycine max) based cropping systems under the rainfed conditions in North-West Himalayan Region. Soil and Tillage Research, 100: 78–82.

15- Verch G., Kachele H., Holtl K., Richter C. and Fuchs C. 2009. Comparing the profitability of tillage methods in Northeast Germany—A field trial from 2002 to 2005. Soil and Tillage Research, 104:16-21.