تعیین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی با تأکید بر کشاورزی پایدار: کاربرد روش برنامه‌ریزی خطی کسری با اهداف چندگانه در شرایط عدم حتمیت

مصطفی مردانی نجف‌آبادی، عباس عبدشاهی[1]
abdeshahi1349@ramin.ac.ir

چکیده

یکی از چالش‌های موجود در توسعه کشاورزی پایدار، مصرف بیش از حد و غیربهینه نهاده‌های مختل کننده‌ی کشاورزی پایدار است. در مطالعه حاضر، الگوی کشت فعلی اراضی تحت پوشش کانال سمت راست شبکه آبیاری سد انحرافی نکوآباد با الگوی بهینه حاصل از دو مدل برنامه‌ریزی خطی و خطی کسری با اهداف چندگانه در شرایط عدم حتمیت مقایسه گردید. برای اعمال شرایط عدم حتمیت در این دو مدل برنامه‌ریزی، از بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کننده‌ی میزان محافظه‌کاری استفاده گردید. یافته‌های مطالعه نشان داد که در الگوی بهینه‌ی کشت حاصل از برنامه‌ریزی خطی کسری با اهداف چندگانه در شرایط عدم حتمیت، شاخص پایداری نسبت کود (سم) برای تمام نهاده‌ها (به جز نهاده قارچ کش) از شاخص پایداری الگوی کشت فعلی و خطی در شرایط عدم حتمیت کمتر است. لذا پیشنهاد می‌گردد الگوی بهینه کشت حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی کسری با اهداف چندگانه در شرایط عدم حتمیت به کشاورزان توصیه شده و برای جبران کاهش سود ناخالص، انواع سیاست‌های قیمت‌گذاری (قیمت‌گذاری مناسب برای محصولات ارگانیک) و سیاست‌های اعتباری (تخصیص وام‌های کم بهره) به کار گرفته شود.

طبقه‌بندی *JEL*: Q01، C61، D81

واژه‌های کلیدی: کشاورزی پایدار، برنامه‌ریزی خطی کسری، عدم حتمیت، الگوی بهینه کشت

[1]ـ به ترتیب استادیار و دانشیار دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

مقدمه

طی پنج دهه گذشته، سیاست‌های توسعه کشاورزی در راستای استفاده از نهاده‌های مختل‌کننده‌ی کشاورزی پایدار نظیر آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات کشاورزی، تولید محصولات کشاورزی را افزایش داده است. اما این نهاده‌ها، به تدریج جانشین فرآیندها و منابع طبیعی موجود در مزارع گردیده‌اند (رحمان، ۲۰۰۳). طی دهه‌های گذشته، مبحث کشاورزی پایدار (به ویژه کشاورزی ارگانیک)، از سوی سازمان‌های بین‌المللی متعدد مورد تأکید قرار گرفته و منجر به تأثیرات زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی مثبتی گردیده است (فائو، ۲۰۰۴). از نظر اقتصادی، تأکید بر کشاورزی ارگانیک باعث بالا رفتن بهره‌وری استفاده از نهاده‌های تولید محصولات کشاورزی و همچنین بهبود و ایجاد فرصت‌های متنوع در بازار این محصولات شده است (باقری، ۲۰۱۰). کشاورزی پایدار نوعی از کشاورزی است که در درجه نخست، در دراز مدت موجب بهبود کیفیت محیط زیست مرتبط با کشاورزی شده، در درجه دوم، احتیاجات غذایی انسان را فراهم نموده، در درجه سوم، از لحاظ اقتصادی بادوام بوده و در نهایت، کیفیت زندگی زارعین و اجتماع را بهبود بخشد (مک‌ایزاک، ۱۹۹۶). یکی از روش‌های رسیدن به حد مطلوب مصرف نهاده‌های خارج از مزرعه و مختل‌کننده‌ی روند کشاورزی ارگانیک، استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در تعیین میزان بهینه به‌کارگیری نهاده‌ها است. به منظور مطالعه کارایی نسبی در زمینه کشاورزی پایدار، برنامه‌ریزی کسری بسیار کاراتر از سایر روش‌های برنامه‌ریزی عمل می‌کند (چارنز و همکاران، ۱۹۷۸). این نوع برنامه‌ریزی از معمول‌ترین نوع برنامه‌ریزی ریاضی با اهداف نسبتی بوده (رومرو و رحمان، ۱۹۸۹) و به منظور لحاظ نمودن چند هدف نسبی در یک مسئله می‌توان، از برنامه‌ریزی کسری خطی با اهداف چندگانه (MOLFP)[1] استفاده نمود. مطالعات فراوانی در زمینه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مربوط به کشاورزی پایدار صورت گرفته است (کیلیان و همکاران، ۲۰۰۶؛ لارا و میناسیان، ۱۹۹۹؛ پال و همکاران ۲۰۰۳). از جمله، موسوی و قرقانی (۱۳۸۷) به محاسبه شاخص‌های پایداری آب کشاورزی با کمک یک مدل برنامه‌ریزی کسری در شهرستان مرودشت پرداختند. همچنین، هدف زیست محیطی کاهش ورود نیتروژن به خاک یا به عبارت دیگر، کاهش میزان کود شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی در مطالعات سامان و همکاران (۲۰۰۶) و لاتینوپولوس و مایولوپولوس (۲۰۰۵) مورد توجه قرارگرفته است. به هر حال، در این مطالعات اشاره‌ای به مسئله مهم عدم اطمینان در داده‌های مورد استفاده نشده است. توجه به موضوع عدم حتمیت در مدل‌های بهینه‌ساز در اغلب مواقع، باعث تغییر در جواب‌های بهینه این مسائل می‌شود. روش‌های برنامه‌ریزی خطی کسری نیز از این قاعده مستثنی نبوده و عدم توجه به موضوع عدم حتمیت در آنها، باعث ایجاد انحراف در روند تصمیم‌گیری می‌شود. در ایران نیز مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است. از جمله، رستگاری‌پور و صبوحی (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به تعیین الگوی کشت بهینه‌ی همسو با کشاورزی پایدار با کمک برنامه‌ریزی کسری خاکستری پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص پایداری نسبت به کود ازت در حالت برنامه‌ریزی کسری در بازه برنامه‌ریزی بازه‌ای کسری خاکستری قرار گرفته و نسبت به الگوی

[1] Multi-objective Linear-Fractional Programming

کشت فعلی بهبود یافته است. همچنین، مقدار حد میانی بازده برنامه‌ای محاسبه شده از مقدار آن در حالت الگوی کشت فعلی، ۱۷ درصد کاهش نشان داد. از عمده‌ترین معایب استفاده از مدل‌های بازه‌ای، دشواری ارزیابی و تفسیر حدود بالا و پایین جواب‌های بهینه است. کهنسال و زارع (۱۳۸۷) نیز در مطالعه‌ی خود به تعیین الگوی کشت بهینه استان خراسان شمالی با استفاده از برنامه‌ریزی فازی کسری با اهداف چندگانه پرداختند. نتایج نشان داد که الگوی حاصل از برنامه‌ریزی خطی ساده بسیار به الگوی کشت فعلی منطقه نزدیک بوده، در حالی که الگوی حاصل از برنامه‌ریزی فازی کسری برای دستیابی به پایداری با الگوی حاصل از برنامه‌ریزی خطی ساده و الگوی کشت فعلی منطقه اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارد. کاهش سود در الگوی کشت بهینه پایدار نسبت به الگوی کشت فعلی، از دیگر نکات قابل توجه در این مطالعه است. زمانی و همکاران (۱۳۸۹) به تعیین الگوی کشت شهرستان پیرانشهر با استفاده از برنامه‌ریزی کسری فازی با اهداف چندگانه پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که الگوی کشت بهینه حاصل از برنامه‌ریزی کسری فازی، اختلاف زیادی با الگوی کشت فعلی منطقه دارد. این درحالی است که سود ناخالص حاصل از الگوی کشت بهینه با الگوی کشت فعلی برابر است. مشکل اساسی استفاده از روش‌های فازی در این مطالعات این است که باید قسمتی از اطلاعات روی ضرایب عدم اطمینان مورد چشم‌پوشی قرار گیرد (برتسیماس و سیم، ۲۰۰۴). هدف از مطالعه حاضر تعیین الگوی کشت بهینه اراضی پایاب شبکه آبیاری سمت راست سد انحرافی نکوآباد واقع در استان اصفهان با استفاده از مدل MOLFP می‌باشد. این سد در دهکده‌ی نکوآباد که در فاصله ۴۵ کیلومتری شهر اصفهان قرار دارد، احداث شد است. در سمت راست این سد یک رشته کانال اصلی جهت برداشت آب احداث شده که حداکثر ۱۵ مترمکعب در ثانیه، آب به منظور آبیاری اراضی موجود به وسعت ۱۵۰۰۰ هکتار واقع در طرف راست زاینده‌رود را تامین می‌کند (حسینی ابری ۱۳۷۹). برای اعمال شرایط عدم حتمیت، از مدل بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری استفاده گردید است. این مدل مشکلات ذکر شده در سایر روش ها را نداشته (برتسیماس و سیم، ۲۰۰۴) و مطالعات انجام گرفته با استفاده از این مدل توانمند در ایران محدود به مطالعات مردانی و همکاران (۱۳۹۰) و صبوحی و مردانی (۱۳۹۰) برای تعیین الگوی بهینه کشت است.

مواد و روش‌ها

در انواع مسائل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی کسری، تابع هدف به صورت یک نسبت ($\frac{f(x)}{g(x)}$) بیان می‌شود. برنامه‌ریزی کسری خطی نیز از انواع برنامه‌ریزی کسری می‌باشد. با این تفاوت که صورت و مخرج تابع هدف در آن جزء توابع نسبت زوجی (AF)[1] بوده و همچنین مجموعه امکان‌پذیر در آن یک چند وجهی محدب است. یک برنامه‌ریزی کسری خطی چند هدفه به صورت رابطه (۱) ارائه می‌شود (کابالرو و هرناندز، ۲۰۰۴):

[1] Affine Function

$$Max \quad \left\{\varphi_1(x)=\frac{c_1^t x+\alpha_1}{d_1^t x+\beta_1},.....,\varphi_p(x)=\frac{c_p^t x+\alpha_p}{d_p^t+\beta_p}\right\}$$
$$s.t \quad Ax \le b, \qquad (1)$$
$$x \ge 0,$$

که، $c,d \in \Re^n$ ضرایب تابع هدف، $A \in M_{m\times n}(\Re)$ ماتریس ضرایب فنی تولید، x متغیر تصمیم و $b \in \Re^m$ مقادیر سمت راست محدودیتها است. برای یافتن جواب‌های بهینه در مسائل بهینه‌سازی چند هدفه می‌توان از روش CONNISE که ترکیبی از روش محدودیت (CON)[1] و روش مجموعه غیرپست (NISE)[2] است، استفاده کرد (تزنگ و هسو، ۱۹۹۴). این روش باکمی تغییر در برنامه‌ریزی کسری خطی چند هدفه نیز استفاده می‌شود (کوهن و همکاران، ۱۹۷۹). فرض کنید که در برنامه‌ریزی چند هدفه E معرف مجموعه کارا و E^w معرف مجموعه کارای ضعیف باشد. روش CONNISE بر اساس تخمین مرزهای کارای ضعیف در فضای هدف[3] ($\varphi(E^w)$) شامل نقاطی از مجموعه مناطق امکان‌پذیر، تعریف شده است. فاصله بین این نقاط نباید از مقداری که قبلاً در نظر گرفته شده، تخطی کند. این روش برای یافتن جواب‌های کارا بسیار مفید بوده اما، در مسائلی با بیش از دو هدف، جواب‌ها همگرایی خود را از دست داده و یافتن جواب نهایی بسیار دشوار می‌شود. این مشکل با کنترل فاصله در نظر گرفته شده برای خطای از پیش تعیین‌شده حل می‌شود. همچنین، با استفاده از روش تخمین کنترل‌شده (CEM)[4]، می‌توان این مشکل را مهار نمود (کابالرو و هرناندز، ۲۰۰۴). الگوریتم مربوط به CEM که توسط کابالرو و هرناندز (۲۰۰۴) ارائه شده، شامل ۷ مرحله می‌باشد. در مرحله اول، نقاط ایده‌آل و غیرایده‌آل و یا به عبارتی ماتریس بازده نهایی[5] به دست می‌آید (رومرو و رحمان، ۲۰۰۳). فاصله بین مقادیر ایده‌آل (D_i^*) و غیرایده‌آل (D_{i-})، مرزهای فضای هدف را تشکیل می‌دهند. در مرحله دوم، عبارت $\xi = Max_{i=1,...,p}\left|\varphi_i^* - \varphi_{i-}\right|$ محاسبه می‌گردد، که در آن φ_i^* و φ_{i-} به ترتیب مقادیر نقاط ایده‌آل و غیرایده‌آل در فضای هدف می‌باشند. در این مرحله، درصد خطای مجاز برای فاصله‌ی بین نقاط امکان‌پذیر (d) در نظر گرفته شده و $\delta = \frac{1}{d}$ محاسبه می‌شود. سپس دو مجموعه $S \neq \phi$ و $A \neq \phi$ تعریف می‌شود که S مجموعه نقاط تخمین جاری[6] و A مجموعه نقاط ناپایدار[7] هستند. در مرحله سوم، $m = E(\frac{1}{d})$ محاسبه می‌شود که در آن $E(\frac{1}{d})$ جزء صحیح $\frac{1}{d}$ می‌باشد. با استفاده از روش محدودیت پارامتریک (PCM)[8] و

[1] Constraint

[2] Non-inferior Set
[3] Objective Space
[4] Controlled Estimation Method
[5] Pay-off
[6] Points of Current Estimation
[7] Loose Points
[8] Parametric Constraints Method

تعداد m تکرار مجموعه S به‌دست می‌آید. در مرحله چهارم، $\theta = \alpha\delta$ محاسبه می‌گردد که در آن $\alpha \in [0,1]$ است. فرض کنید که $S = \{x^1,....,x^k\}$، $k = 1,....N$ و $k \neq J$ باشند. اگر به ازای هر $i = 1,....,p$ نامعادله $|\varphi_i(x^j) - \varphi_i(x^k)| < \theta / |\varphi_i^* - \varphi_{i-}|$ برقرار باشد، نقطه‌ی x^k از مجموعه S حذف می‌شود. این فرایند تا زمانی که نقاط زیادی در مجموعه S باقی نماند، ادامه می‌یابد. این مرحله معروف به گام تصفیه[1]است. در مرحله پنجم، فرض می‌شود که $S = \{x^i,....,x^N\}$ و برای هر x^j $(J = 1,....,N)$، نقطه انتهایی (x^k) متناظر با x^j در فضای هدف یافت می‌شود. اگر $\underset{i=1,...,p}{Max}|\varphi_i(x^j) - \varphi_i(x^k| > d\xi$ باشد، x^j یک نقطه ناپایدار بوده و بنابراین x^j در مجموعه A قرار می‌گیرید. این مرحله برای تمامی x^jها تکرار می‌شود. اگر A تهی باشد این فرایند تمام شده و در غیر این صورت مرحله ششم آغاز شده و m حاصل از مرحله سوم به صورت $m+1$ در نظر گرفته می‌شود. اگر $A = \{x^1,...,x^m\}$ باشد، برای هر x^j متعلق به A، نقطه x^k که به x^j نزدیک‌تر است (مرحله چهار)، در نظر گرفته می‌شود. این مرحله برای تمام نقاط از مجموعه A تکرار می‌شود. در نهایت، در مرحله هفتم، مجموعه $A \neq \phi$ بدست آمده و به مرحله سوم رجوع می‌شود. روش‌های متفاوتی برای لحاظ نمودن عدم حتمیت در مسائل بهینه‌سازی ارائه گردیده است. مسئله بهینه‌یابی در رابطه (۲) را در نظر بگیرید (برتسیماس و سیم، ۲۰۰۴):

$$\begin{aligned} &Maximize \quad cx \\ &subject \quad to \quad \sum_{j=1}^{n} \tilde{a}_{.j} x_j \le b_i, \qquad \forall i, j \in J_i \\ &l \le X \le u. \end{aligned} \tag{۲}$$

J_i زیرمجموعه‌ای از شاخص‌های مرتبط با پارامتر نامطمئن $\tilde{a}_{ij}$ بوده که برای هر محدودیت i مشخص می‌شود. رابطه (۳)، این مدل را به صورت بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری ارائه داده که باعث بهبود قابلیت اعتماد به سیستم‌ها در شرایط عدم حتمیت می‌گردد (برتسیماس و سیم، ۲۰۰۴).

$$\begin{aligned} &Maximize \quad cx \\ &subject \quad to \quad \sum_i \bar{a}_{ij} x_j + \\ &\max_{\{S_i \cup \{t_i\} | S_i \subseteq J_i, |S_i| = \lfloor \Gamma_i \rfloor, t_i \in J_i \setminus S_i\}} \left\{ \sum_{j \in S_i} \hat{a}_{ij} y_j + (\Gamma_i - \lfloor \Gamma_i \rfloor) \hat{a}_{it_i} y_t \right\} \le b_i, \qquad \forall i \\ &-y_j \le x_j \le y_j, \qquad \forall j \in J_j \\ &l \le X \le u, \\ &y \ge 0 \end{aligned} \tag{۳}$$

[1] Filtering

که برای هر مقدار j ، $y_j = |x_j^*|$، $\bar{a}_{ij}$ مقدار ارزش اسمی پارامتر نامطمئن و $\hat{a}_{ij}$ از حاصل‌ضرب مقدار ارزش اسمی متغیر $\bar{a}_{ij}$ در سطح عدم اطمینان معین (ε) به دست می‌آید. بنابراین، متغیر $\tilde{a}_{ij}$ دارای توزیع متقارن و کراندار در محدوده $[\bar{a}_{ij} - \hat{a}_{ij}, \bar{a}_{ij} + \hat{a}_{ij}]$ می‌باشد. برای کنترل میزان محافظه‌کاری، پارامتر Γ_i تعریف شده که می‌تواند اعداد حقیقی در دامنه‌ی $[0 , J_i]$ را اختیار نماید. در مدل (۳)، $\sum \bar{a}_{ij} x_j \le b_i$، معرف محدودیت iام در شرایط حتمیت است. میزان اطمینان مدل در مقابل عدم حتمیت، به مقدار پارامترهای Γ_i بستگی دارد. پارامترهای Γ_i می‌توانند مقادیر متفاوتی اختیار نمایند که به احتمال انحراف محدودیت[1] iام از کران خود (p) و همچنین به تعداد پارامترهای نامطمئن در آن محدودیت بستگی دارد. با جایگذاری x^* در معادله (۳) به عنوان جواب بهینه، احتمال انحراف محدودیت iام از کران خود، مطابق رابطه (۴) به دست می‌آید (برتسیماس و سیم، ۲۰۰۴).

$$pr\left(\sum_j \tilde{a}_{ij} x^*_j > b_i\right) \le B(n, \Gamma_i) \qquad (۴)$$

برای محاسبه Γ_i، یک سطح مطلوب احتمال انحراف محدودیت i از کران آن محدودیت در نظرگرفته و که از رابطه (۴) برای محاسبه‌ی آن استفاده می‌گردد (برتسیماس و سیم، ۲۰۰۴). توابع هدف در مطالعه حاضر، به صورت رابطه‌ی (۵) تعریف می‌شود.

$$Max \quad \left\{ \begin{array}{l} \varphi_{1-3} = \dfrac{\sum_{j=1}^{J} a_j x_j}{\sum_{j=1}^{J} f_{tj} x_j} \Big| t = 1,2,3; \\ \varphi_{4-6} = \dfrac{\sum_{j=1}^{J} a_j x_j}{\sum_{j=1}^{J} pe_{zj} x_j} \Big| z = 1,2,3 \end{array} \right\} \qquad (۵)$$

که توابع هدف φ_1 تا φ_3 مربوط به پایداری نسبت به کودهای شیمیایی ازته، فسفاته و پتاس می‌باشد. در این توابع، x_j معرف سطح زیرکشت محصول j، a_j معرف درآمد ناخالص حاصل از کشت یک هکتار از محصول j و f_{tj} معرف مقدار کود مورد نیاز از نوع t برای کشت هر هکتار از محصول j می‌باشند. توابع φ_4 تا φ_6 مربوط به پایداری نسبت به آفت‌کش‌های علف‌کش، قارچ‌کش و حشره‌کش می‌باشند. در این توابع، pe_{zj} معرف مقدار آفت‌کش مورد نیاز نوع z در هر هکتار محصول j است. در این مطالعه، ۱۰ محصولی که در منطقه بیشتر کشت می‌شوند، در نظر گرفته شده است. این محصولات عبارتند از: x_1: گندم، x_2: جو، x_3: ذرت دانه‌ای، x_4: پیاز، x_5: سیب‌زمینی، x_6: گوجه‌فرنگی، x_7: آفتابگردان، x_8: چغندر قند، x_9: کلزا و x_{10}: خیار. در یک مدل بهینه‌سازی الگوی کشت، پارامترهای نامطمئن زیادی

[1] Probability of Constraint Violation

وجود دارد. در این مطالعه، تنها آب قابل دسترس در فصل s به عنوان پارامتر نامطمئن در نظرگرفته شده است. بنابراین، با تعریف پارامتر Γ_s، محدودیت آب با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری (مدل ۳) مطابق رابطه (۶) وارد مدل شده است.

$$\sum_{j=1}^{J} w_j x_j - \overline{W_s} + (\Gamma_s - 1)\left|-\hat{W_s}\right| \le 0 \qquad \forall s \qquad (۶)$$

در محدودیت ۶، w_j معرف مقدار آب مورد نیاز برای کشت هر هکتار از محصول j و $\overline{W_s}$ معرف مقدار آب قابل دسترس در فصل s می‌باشند. همچنین، مقدار $\hat{W_s}$ از ضرب مقدار $\overline{W_s}$ در سطح عدم اطمینان معین (ε) به دست می‌آید. سایر محدودیت‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر، در روابط (۷) تا (۱۱) آمده است.

$$\sum_{j=1}^{J} l_j x_j \le L \qquad (۷)$$

$$\sum_{j=1}^{J} m_j x_j \le M \qquad (۸)$$

$$\sum_{j=1}^{J} f_{tj} x_j \le F_t \qquad \forall t \qquad (۹)$$

$$\sum_{j=1}^{J} pe_{zj} x_j \le P\overline{E}_z \qquad \forall z \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{j=1}^{J} x_j \le A \qquad (۱۱)$$

محدودیت (۷) مربوط به نیروی کار می‌باشد. در این محدودیت، l_j معرف مقدار نیروی کار مورد نیاز برای کشت هر هکتار از محصول j و L معرف نیروی‌کار در دسترس است. محدودیت (۸) مربوط به ساعات استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی می‌باشد. در این محدودیت، m_j معرف تعداد ساعات استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی در هر هکتار از محصول j و M، معرف مقدار ساعات ماشین‌آلات کشاورزی در دسترس است. محدودیت‌های (۹) و (۱۰) به ترتیب مربوط به کود شیمیایی و آفت‌کش می‌باشد. در این محدودیت‌ها، F_t شاخص مقدار کل کود در دسترس از نوع t و PE_z معرف مقدار آفت‌کش در دسترس از نوع z است. محدودیت (۱۱) مربوط به زمین بوده که A معرف مقدار زمین در دسترس برای کلیه محصولات مورد مطالعه می‌باشد. برای بررسی میزان پایداری الگوهای بهینه کشت حاصل از مدل مذکور، می‌توان از شاخص پایداری استفاده نمود. شاخص پایداری نسبت کود (سم) از رابطه‌ی (۱۲) حاصل می‌شود (حق‌نیا و کوچکی، ۱۳۷۵):

$$\text{شاخص پایداری نسبت کود (سم)} = \frac{\text{میزان کود (سم)}}{\text{سطح زیرکشت}} \qquad (۱۲)$$

هر چه نسبت مصرف کود (سم) در واحد سطح، در یک دوره زمانی کاهش یابد، بهره‌برداران در جهت پایداری عمل نموده‌اند. بنابراین، کاهش این شاخص به معنی پایداری بیشتر می‌باشد. شایان ذکر است که میزان کود یا سم مصرف شده در مدل‌های برنامه‌ریزی خطی و خطی کسری با اهداف چندگانه، از محاسبه مقادیر نهایی مصرف این نهاده‌ها به دست می‌آید. در نهایت، جهت ارزیابی مدل پیشنهادی، از روش شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده می‌شود (برتسیماس و سیم، ۲۰۰۴). بدین منظور، ۱۰۰ عدد تصادفی با توزیع نرمال و همگرایی ۹۹/۹۹ درصد برای مقدار آب در دسترس (پارامتر نامطمئن) تولید شده و مدل بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری برای تمام سطوح احتمال انحراف محدودیت از کران خود و سطوح عدم اطمینان معین، حل می‌شود. در مرحله بعد، درصد جواب‌های ناممکن[1] تولید شده توسط مدل به عنوان عدم قابلیت مدل ثبت می‌گردد. در مطالعه حاضر، کلیه داده‌های مورد نیاز مسئله از سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای و شرکت میراب زاینده‌رود استان اصفهان در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ دریافت گردید.

نتایج

جدول (۱)، نتایج مربوط به تعیین الگوی بهینه کشت حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی ساده و همچنین برنامه‌ریزی خطی کسری با اهداف چندگانه (MOLFP) در شرایط حتمیت و عدم حتمیت را نشان می‌دهد. جهت اعمال شرایط عدم حتمیت در مدل، سطح احتمال انحراف محدودیت آب از کران خود معادل ده درصد (p=۰/۱) و سطح عدم اطمینان معین معادل پنج درصد (ε=۰/۰۵) در نظر گرفته شد. بیشترین و کمترین سطح زیرکشت در الگوی کشت فعلی به ترتیب مربوط به محصولات گندم (۵۵ درصد سطح زیر کشت کل) و آفتابگردان (۱ درصد سطح زیرکشت کل) می‌باشد. نتایج حاصل از برآورد مدل برنامه‌ریزی خطی ساده نشان می‌دهد که سود ناخالص حاصل از الگوی کشت فعلی منطقه تفاوت اندکی (در حدود ۹ درصد افزایش) با الگوی کشت تعیین شده به‌وسیله برنامه‌ریزی خطی ساده دارد. این امر نشان‌دهنده رفتار سودگرای کشاورزان منطقه مورد مطالعه است. اما، کاهش سود ناخالص قابل ملاحظه از ۳۱۷ میلیارد ریال در الگوی کشت فعلی به ۱۸۶ میلیارد ریال (کاهش ۴۱ درصدی) در الگوی کشت حاصل از برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه در شرایط قطعیت، نشان دهنده عدم توجه کشاورزان به محیط زیست است. کاهش سود ناخالص در الگوی بهینه کشت پایدار، مؤید نتایج مطالعه‌ی کهنسال و زارع (۱۳۸۷) بوده اما با نتایج مطالعه زمانی و همکاران (۱۳۸۹) مغایرت دارد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که درصد تغییر الگوی کشت فعلی نسبت به الگوی کشت بهینه پایدار در شرایط حتمیت، در تمامی محصولات بالا بوده و نشان‌دهنده عدم تمرکز کشاورزان منطقه مورد مطالعه بر کشاورزی پایدار است. مقایسه برنامه‌ریزی خطی کسری با اهداف چندگانه در دو شرایط حتمیت و عدم حتمیت، نشان می‌دهد که یک اختلاف جزئی در الگوی کشت بهینه حاصل از این دو روش وجود دارد. کاهش سود ناخالص نیز بسیار جزئی و در حدود ۳ درصد است.

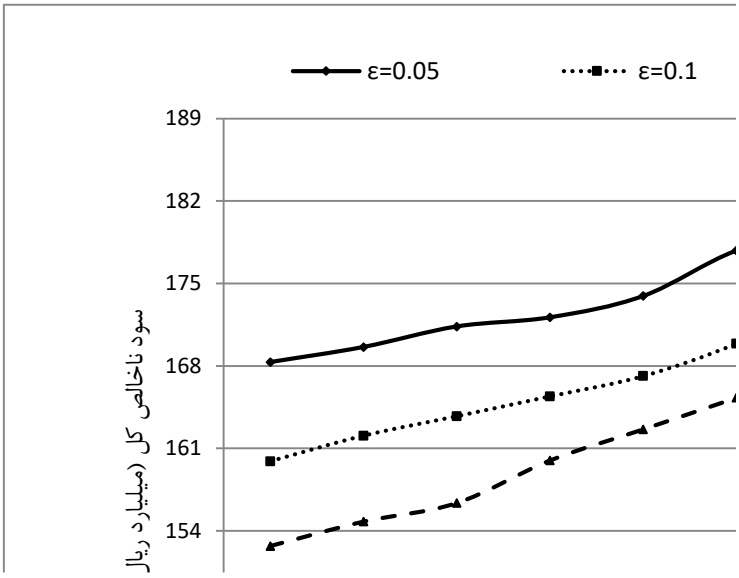
[1] Infeasible Solution

جدول ۱. نتایج مربوط به مدل‌های برنامه‌ریزی خطی ساده و خطی کسری در دو شرایط قطعیت و عدم حتمیت

محصول	سطح زیرکشت (هکتار)					
	فعلی	خطی ساده	MOLFP حتمیت (p=۱)	درصد تغییر	MOLFP عدم حتمیت (p=ε، ۱/۰=۰/۰۵)	درصد تغییر
گندم (x_1)	۸۱۶۱	۲۱۱۶	۲۰۹۲	-۷۴	۲۰۳۴	-۷۵
جو (x_2)	۳۲۸۸	۱۸۹۳	۱۸۹۸	-۴۲	۱۸۲۶	-۴۴
ذرت‌دانه‌ای (x_3)	۲۸۳	۳۴۴	-	-۱۰۰	-	-۱۰۰
پیاز (x_4)	۴۰۳	۲۷۸۹	۳۱۵	-۲۲	۳۱۵	-۲۲
سیب‌زمینی (x_5)	۱۵۹۰	۵۹۴	۱۳۶۰	-۱۴	۱۳۱۹	-۱۷
گوجه‌فرنگی (x_6)	۱۴۰	-	۵۱۳	۷۳	۴۹۸	۷۲
آفتابگردان (x_7)	۶۷	۱۶۷۷	-	-۱۰۰	-	-۱۰۰
چغندرقند (x_8)	۴۹۵	-	-	-۱۰۰	-	-۱۰۰
کلزا (x_9)	۱۷۸	-	-	-۱۰۰	-	-۱۰۰
خیار (x_{10})	۱۷۱	-	۵۴۱	۶۸	۵۴۱	۶۸
سود ناخالص (میلیاد ریال)	۳۱۷	۳۴۵	۱۸۶	-۴۱	۱۸۱	-۴۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

تحلیل حساسیت سود ناخالص در برنامه‌ریزی خطی کسری با اهداف چندگانه در شرایط عدم حتمیت در نگاره (۱) آمده است. ملاحظه می‌شود که در سطوح عدم اطمینان معین ثابت (ε=۰/۰۵)، با افزایش احتمال انحراف هر محدودیت از کران خود (کاهش میزان محافظه‌کاری) یا به عبارت دیگر، کاهش عدم حتمیت، میزان سود ناخالص افزایش می‌یابد. همچنین در سطوح ثابت احتمال p با افزایش سطح عدم اطمینان معین، میزان سود ناخالص کاهش می‌یابد. بنابراین، نتایج این بخش مؤید نتایج مطالعات کهنسال و زارع (۱۳۸۷) و رستگاری‌پور و صبوحی (۱۳۹۱) بوده که به ترتیب از برنامه‌ریزی کسری فازی و خاکستری استفاده نموده‌اند. همچنین، نتایج مطالعه، صرف‌نظر از پایداری الگوی بهینه‌ی کشت، مطابق با نتایج مطالعات مردانی و همکاران (۱۳۹۰) و صبوحی و مردانی (۱۳۹۰) در بهینه‌سازی سود ناخالص است. نتیجه مطالعه زمانی و همکاران (۱۳۸۹) با یافته‌های ناشی از مطالعه حاضر و سایر مطالعات ارائه شده مغایرت دارد.



شکل ۱. سود ناخالص در برنامه‌ریزی خطی کسری با اهداف چندگانه در شرایط عدم حتمیت با سطوح متفاوت p و ε

در جدول (۲)، شاخص پایداری مربوط به نهاده‌های مورد نظر کشاورزی پایدار در الگوی کشت فعلی، برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی خطی کسری در دو شرایط قطعیت و عدم حتمیت آمده است. ملاحظه می‌شود که این شاخص در تمامی نهاده‌ها به جز قارچ‌کش در الگوی بهینه کشت معرفی شده توسط برنامه‌ریزی خطی ساده، از الگوی کشت فعلی بالاتر است. این امر نشان‌دهنده عدم توانایی مدل برنامه‌ریزی خطی ساده در برآورد الگوی کشت پایدار در منطقه مورد مطالعه است. در مقابل، شاخص پایداری مربوط به کلیه‌ی نهاده‌های مختل‌کننده‌ی کشاورزی ارگانیک در الگوی بهینه کشت برنامه‌ریزی خطی کسری کاهش داشته است (به جز نهاده مربوط به قارچ کش که یک افزایش کوچک ۴ درصدی داشته است). به عنوان مثال، شاخص پایداری نسبت مصرف سم علف‌کش از ۱۲۴۰لیتر در هکتار در الگوی کشت فعلی، به ۶۸۹ لیتر در هکتار در الگوی کشت بهینه توسط برنامه‌ریزی خطی کسری کاهش یافته (کاهش ۴۴ درصدی) که مبین پایداری الگوی کشت بهینه است. این نتیجه مؤید نتایج به دست آمده از مطالعه زارع و کهنسال (۱۳۸۷) می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر، برابری شاخص پایداری محاسبه شده نهاده‌های مختل کننده کشاورزی ارگانیک، در دو شرایط قطعیت و عدم حتمیت است.که می‌توان آن را به کاهش متناسب مصرف این نهاده‌ها و سطح زیرکشت در دو الگو نسبت داد.

جدول۲. شاخص پایداری نهاده‌های تولید مورد توجه در کشاورزی پایدار در انواع الگوی بهینه کشت

نهاده	شاخص پایداری					
	فعلی	خطی ساده	MOLFP حتمیت (p=۱)	درصد تغییر	MOLFP عدم حتمیت (p=ε، ۱/۰=۰/۰۵)	درصد تغییر
کود فسفاته	۱۹۹	۲۱۳	۱۷۶	-۱۱	۱۷۶	-۱۱
کود ازته	۳۹۳	۴۳۷	۳۱۵	-۲۰	۳۱۵	-۲۰

کود پتاسه	۲۱	۲۲	۱۷	-۲۳	۱۷	-۲۳
علف‌کش	۱۲۴۰	۱۵۰۸	۶۸۹	-۴۴	۶۸۹	-۴۴
حشره‌کش	۸۷۷	۹۵۷	۷۲۵	-۱۷	۷۲۵	-۱۷
قارچ‌کش	۱۴۷	۱۲۴	۱۴۱	۴	۱۴۱	۴

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از ارزیابی مدل مورد مطالعه در روش شبیه‌سازی مونت کارلو، در جدول ۳ آمده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش احتمال انحراف محدودیت از کران خود (در سطوح ثابت عدم اطمینان معین)، درصد جواب‌های ناممکن افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، کاهش میزان محافظه‌کاری مدل در مقابل عدم حتمیت، منجر به افزایش درصد جواب‌های ناممکن می‌گردد. با افزایش سطوح عدم اطمینان معین نیز، جواب‌های ناممکن افزایش یافته است. به عنوان مثال، در سطح عدم اطمینان معین ۵ درصد (ε=۰/۰۵) و سطح احتمال ده درصد (p=۰/۱)، از صد بار حل مدل با کمک اعداد تصادفی تولید شده، تنها ۷ بار جواب ناممکن به دست آمده است. با افزایش سطح احتمال p به ۱ (صد در صد انحراف از محدودیت) و همچنین افزایش سطح عدم اطمینان معین به ۲۰ درصد، تعداد جواب‌های ناممکن به ۸۱ درصد افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، تنها در ۱۹ درصد موارد، جواب‌های ممکن ارائه گردیده است.

جدول۳. درصد جواب‌های ناممکن برای اعداد تصادفی تولید شده در سطوح متفاوت p و ε

	سطح احتمال انحراف هر محدودیت از کران خود (p)									
سطح عدم اطمینان معین (ε)	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱
۰/۰۵	۶۸	۵۴	۴۳	۳۷	۲۹	۲۰	۱۶	۱۲	۹	۷
۰/۱	۷۸	۷۸	۶۷	۵۵	۴۳	۳۵	۲۸	۲۰	۱۴	۱۱
۰/۲	۸۱	۸۱	۷۵	۶۸	۶۰	۵۳	۴۱	۳۴	۲۷	۱۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مطالعه‌ی حاضر، به تخصیص بهینه‌ی اراضی پایاب شبکه آبیاری سمت راست سد انحرافی نکوآباد با در نظر گرفتن عوامل مربوط به کشاورزی پایدار در شرایط عدم حتمیت پرداخته شد. مدل‌های برنامه‌ریزی خطی ساده (با درنظر گرفتن حداکثر سود ناخالص در تابع هدف) و برنامه‌ریزی خطی کسری با اهداف چندگانه در دو شرایط قطعیت و عدم حتمیت برآورد گردید. برای حل برنامه‌ریزی خطی کسری، تعداد ۶ هدف به صورت نسبتی به منظور لحاظ پایداری در الگوی بهینه کشت، در نظرگرفته شد. با استفاده از روش CONNISE، تعداد ۵۱۲ زیر فضا در فضای هدف ایجاد و با استفاده از روش CE و بررسی و حذف این زیر فضاهای با تعداد متفاوت نقاط ایده‌آل و غیرایده‌آل، جواب‌های بهینه یافت شد. جهت اعمال شرایط عدم حتمیت، بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کننده‌ی

میزان محافظه‌کاری با سطوح متفاوت احتمال انحراف هر محدودیت از کران خود (p) و عدم اطمینان معین (ε) مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به کاهش شاخص پایداری در تمام نهاده‌های مختل‌کننده‌ی کشاورزی پایدار (به جز نهاده قارچ‌کش) و همچنین شرایط نامطمئن کنونی آورد رودخانه زاینده‌رود برای اراضی پایاب شبکه آبیاری سمت راست سد انحرافی نکوآباد، استفاده از الگوی بهینه کشت حاصل از برنامه‌ریزی خطی کسری با اهداف چندگانه در شرایط عدم حتمیت پیشنهاد می‌شود. همچنین، می‌توان برای جبران کاهش سود ناخالص که به دلیل اجرای این نوع الگوی کشت ایجاد می‌شود، از انواع سیاست‌های قیمت‌گذاری (قیمت‌گذاری مناسب برای محصولات کشاورزی ارگانیک) و سیاست‌های اعتباری (تخصیص وام‌های کم‌بهره برای این نوع کشت) استفاده نمود.

منابع

۱. حسینی ابری، س.ح. (۱۳۷۹) زاینده‌رود از سرچشمه تا مرداب. *نشر گلها*، اصفهان.

۲. حق‌نیا، غ. و کوچکی، ع. (۱۳۷۵) مدیریت پایدار خاک. *انتشارات جهاد دانشگاهی*، مشهد.

۳. رستگاری‌پور، ف. و صبوحی، م. (۱۳۹۱) برنامه‌ریزی کسری خاکستری یک رهیافت تجربی جدید در کشاورزی پایدار مطالعه موردی: شهرستان قوچان، *مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۲ (۱): ۱۳۵- ۱۲۷.

۴. زمانی، ا. صبوحی، م. و نادر، ه. (۱۳۹۱) تعیین الگوی زراعی در جهت کشاورزی پایدار، با استفاده از برنامه‌ریزی کسری فازی با اهداف چندگانه (مطالعه موردی: شهرستان پیرانشهر)، *مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲(۴): ۱۰۲-۱۱۲.

۵. صبوحی، م. و مردانی، م. (۱۳۹۰). بررسی اثر بارندگی بر الگوی کشت و درآمد ناخالص کل در محدوده‌ی شبکه‌ی آبیاری سمت راست سد انحرافی نکوآباد. *مجله اقتصاد کشاورزی*، ۵(۳): ۲۰۲-۲۲۱.

۶. کهنسال، م. و زارع، ع. (۱۳۸۷) تعیین الگوی بهینه کشت همسو با کشاورزی پایدار با استفاده از برنامه‌ریزی فازی کسری با اهداف چندگانه مطالعه موردی استان خراسان شمالی، *مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۶۲: ۱-۳۳.

۷. مردانی، م. سخدری، ح. و صبوحی، م. (۱۳۹۰) کاربرد برنامه‌ریزی چندهدفه و پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری در برنامه‌ریزی زارعی مطالعه موردی: شهرستان مشهد. *مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی*،۲ :۱۶۱-۱۸۷.

۸. موسوی، ن. و قرقانی، ف. (۱۳۸۷) محاسبه شاخص‌های پایداری آب کشاورزی توسط مدل برنامه‌ریزی کسری (مطالعه موردی شهرستان مشهد). *مجله اقتصاد کشاورزی*، ۳(۳): ۱۴۳-۱۶۰.

9. Bagheri, A. (2010) Potato farmers' perceptions of sustainable agriculture: the case of Ardabil province of Iran. Journal of Social and Behavioral Sciences, 5:1977-1981.
1. Bertsimas, D. and M. Sim. (2004) The price of robustness, Journal of Operations Research, 52 (1): 35–53.
2. Caballero, R. and M. Hernandez. (2004) The controlled estimation method in the multiobjective linear fractional problem. Journal of Computers and Operations Research, 31: 1821–1832.
10. Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes E. (1978) Measures the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2: 428-449.
11. Cohon, J.L. Church, R.L. and Sheer, D.P. (1979) Generating multi-objective trade-offs: an algorithm for bicriterion problems. Journal of Water Resources Research,15:1001–10.
12. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2004) What is organic agriculture? World Wide Web electronic publication available at: http:www.fao.org. organicag.frame1-e.htm, [accessed 28- November -2004].

13. Kilian, B., Jones, C. Pratt, L. and Villalobos, A. (2006) Is sustainable agriculture a viable strategy to improve farm income in Central America? A case study on coffee. Journal of Business Research, 59:322-330.
14. Lara, P. and Minasian, I.S. (1999) Fractional programming: A tool for the assessment of sustainability. Journal of Agricultural Systems, 62:131-141.
15. Latinopoulos, D. and Mylopoulos, Y. (2005) Optimal allocation of land and water resources in irrigated agriculture by means of Goal Programming: Application in Loudias River basin. Global Nest Journal, 7: 264-273.
16. McIsaac, G. (1996) Sustainability: What can we learn from the past?. Journal of Sustainable Agriculture, 9(1): 3-7.
17. Pal, B.B. Moitra, B.N., and Maulik, U. (2003) A goal programming procedure for fuzzy multi-objective linear fractional programming problem, Fuzzy Sets and Systems, 139:395-405.
18. Rahman, S. (2003) Environmental impacts of modern agricultural technology diffusion in Bangladesh: an analysis of farmers' perceptions and their determinants. Journal of Environmental Manageme, 68:183-191.
19. Romero, C. and Rehman, T. (2003) Multiple criteria analysis for agricultural decisions. 2th Edition, Developments in Agricultural Economics. 11:47-61.
20. Romero, C. and Rehman, T. (1989). Multiple criteria analysis for agricultural decisions. Elsevier, Amsterdam.
21. Seaman, J., Flichman, G., Scardigo, A. and Steduto, P. (2006). Analysis of nitrate pollution control in the irrigated agriculture of Apulia Region (Southern Italy): A bio-economic modeling approach, Agricultural Systems, 94(2): 357-367.
22. Tzeng, Y.R, and Hsu J. (1994) A new algorithm for solving multi-objective linear fractional programming: the CONNISE method. Multiple criteria decision making. New York: Springer. p. 459–70.

Determination of Optimal Cropping Pattern with Emphasis On Sustainable Agriculture: Application of Multi-Objective Linear-Fractional Programming in Conditions of Uncertainty

Abstract

The excessive and inefficient consumption of disruptive inputs for sustainable agricultural is one of the challenges in sustainable agricultural development. In this study, the current cropping pattern of the areas covered by right side canal of irrigation network of Nekooabad diversion dam was compared with the optimal cropping pattern of two model of linear and multi-objective linear-fractional programming under uncertainty conditions. To apply the uncertainty conditions in these two programming models, optimization with conservative control parameters was used. The results of study showed that in the optimal cropping pattern of multi-objective linear-fractional programming under uncertainty conditions, sustainability index of fertilizer (poison) ratio for all inputs (except for fungicide) is lower than sustainability index of current cropping pattern and linear programming in conditions of uncertainty. According to the findings, the use of optimal cropping pattern proposed by multi-objective linear-fractional programming in uncertainty conditions is suggested and to compensate the reduction of gross margins, a variety of pricing policies (appropriate pricing for organic products) and credit policies (low interest loan allocation) is recommended.

JEL Classification: Q01 :JEL ،C61، D81

Keywords: Sustainable agricultural, Linear-fractional programming, Uncertainty, Optimal cropping pattern