اقتصاد کشاورزی/ جلد ۱۰/ شماره ۱/ صفحه‌های ۱۳۶-۱۱۵

تبیین شاخص‌های پایداری و بهبود بهره‌وری منابع تولید در الگوی کشت دشت ماهیدشت استان کرمانشاه (رهیافت برنامه‌ریزی کسری)

سعید یزدانی ،فرشاد محمدیان ، عمران طاهری ریکنده، صابر کلهری[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۱۰/۲۸

چکیده

امروزه لزوم جلوگیری از تخریب منابع آب و خاک و کاهش آسیب و زیآنهای اقتصادی و اجتماعی آن پایداری کشاورزی و ارائه الگوهای زراعی پایدار به یکی از اولویت‌های اساسی برای سیاست‌گذاران بخش کشاورزی تبدیل شده است. از این‌رو، این پژوهش در راستای معرفی الگوی زراعی مناسب برای متعادل‌سازی کاربرد کودها و سموم شیمیایی، برقراری توازن میان منابع در دسترس و وضعیت اقلیمی و همچنین بهره‌برداری بهینه از آنها در دشت ماهیدشت واقع در استان کرمانشاه انجام شد. برای این منظور ۲۶۳ پرسشنامه در سال ۱۳۹۳ به روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دومرحله‌ای تکمیل و با به‌کارگیری مدل‌های برنامه‌ریزی کسری چندهدفه و چندهدفه فازی، الگوهای زراعی پایدار در چارچوب محدودیت‌های فنی تولید و خودکفایی در زمینه تامین نیازهای علوفه‌ای وتغذیه‌ای دام و طیور دشت مورد نظر در شش پیش‌فرض مختلف ارائه شد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اظهار داشت که همهٔ الگوهای زراعی پیشنهادی نسبت به الگوی کنونی منطقه پایدارتر خواهند بود. لذا پیشنهاد می‌شود تا سیاست‌گذاران با توجه به هدف‌های کلی و منطقه‌ای اجرای هر یک از الگوهای زراعی پیشنهادی را در اولویت قرار دهند، که لازمه تحقق آن تدوین الزام‌های قانونی، سیاست‌های تشویقی و تنبیهی و به‌کارگیری مروجان کشاورزی کارآزموده درجهت حرکت به سمت الگوهای زراعی پیشنهادی خواهد بود.

طبقه‌بندی JEL : C33، Q01، Q25، R32، C61

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، برنامه‌ریزی کسری چندهدفه، برنامه‌ریزی کسری چندهدفه فازی، دشت ماهیدشت

[1] به ترتیب استاد دانشگاه تهران ریاست دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی ،دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه تهران ،دانشجویان کارشناسی ارشد دانشگاه تهران

Email: syazdani@ut.ac.ir

مقدمه

انتشار گزارش "آینده مشترک ما" توسط کمیسیون جهانی محیط و توسعه در سال ۱۹۸۷ توجه جهانیان را به مفهوم توسعه پایدار معطوف کرد. برابر تعریف این مجمع، توسعه پایدار عبارت است از توسعه‌ای که نیازهای نسل کنونی را بدون آسیب‌رسانی به توانایی‌های نسل آینده برای تأمین نیازهایشان فراهم کند (کمیسیون جهانی محیط و توسعه[1]، ۱۹۸۷). پس از آن پایداری توسعه به یکی از محورهای اصلی مباحث مجامع علمی تبدیل شد. محققان بر این باورند که توسعه پایدار، تنها به دنبال حفظ و پاسداری از محیط زیست نبوده، بلکه به نوعی از توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی اشاره دارد که امکانات زندگی را برای همه‌ی مردم جهان در طول دوران مختلف به صورت عادلانه به کار بگیرد (دیکسون[2]، ۱۹۹۱). این نگرش شیوه‌ای از برنامه‌ریزی را نیاز دارد که افزون بر دستیابی به توسعهٔ همه جانبهٔ اقتصادی و اجتماعی، حفاظت از منابع زیست‌محیطی باارزش مانند زمین، آب، گیاه و تنوع زیستی را مد نظر قرار دهد (بانک جهانی[3]، ۲۰۰۵). چرا که منابع زیست‌محیطی همواره به عنوان سرمایه‌های اصلی هر اقتصاد مطرح بوده و پایداری آنها به سبب نقش و اهمیت‌شان در حرکت به سمت توسعه، یکی از اساسی‌ترین چالش‌های مورد بحث است. از سویی تأکید بر افزایش تولیدات تجاری در بخش کشاورزی، ناهنجاری‌های پرشماری را پیش روی جامعه‌های مختلف قرار داده است. استمرار ناهنجاری‌هایی مانند تخریب خاک و از بین رفتن موجودهای خاکزی به سبب کاربرد بی‌رویه و نامتعادل کودها و سموم شیمیایی، اُفت سطح آب‌های زیرزمینی به دلیل افزایش برداشت از آن، نابودی جنگل‌ها و مراتع و به زیر کشت بردن اراضی آنها نیز موجب ایجاد و همه‌گیر شدن مفهوم پایداری در این بخش شده است (کروز[4]، ۲۰۰۴؛ ساد[5]، ۲۰۰۷). کشاورزی پایدار نوعی کشاورزی است که در جهت منافع انسان بوده، کارایی بیشتری در استفاده از منابع داشته و با محیط‌زیست در توازن است. به عبارت دیگر، کشاورزی پایدار فعالیتی است که از نظر بوم‌شناختی مناسب، از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر، از نظر اجتماعی مطلوب و از نظر فرهنگی مورد پذیرش و قابل اجرا باشد (کهنسال و فیروز زارع، ۱۳۸۷).

---

[1] World Commission on Environment and Development
[2] Dixon
[3] World Bank
[4] Cruz
[5] Saad

از این‌رو مهم‌ترین مباحثی که در جهت ایجاد یک سامانه کشاورزی پایدار مطرح می‌شود، متعادل‌سازی کاربرد کودها و سموم شیمیایی، برقراری توازن میان منابع در دسترس و وضعیت اقلیمی مناطق مختلف و بهره‌برداری بهینه از آنها می‌باشد، لذا بیش از هر چیز باید روی شیوه‌های بهره‌برداری از منابع و الگوی کشت مناطق متمرکز شد. تدوین الگوی کشت به روشی از برنامه‌ریزی گفته می‌شود که با در نظر گرفتن شرایط فنی، اقتصادی و تأمین نیازهای منطقه‌ای، میزان تولید را در هر واحد جغرافیایی برای دوره‌های زمانی خاص تعیین و هدف‌گذاری کند که می‌تواند زیربنای بهره‌وری بهینه بوده و بستر لازم را برای انجام عملیات ارتقاء آن فراهم آورد. عامل‌های چندی مانند تناوب زراعی، تقویم عملیات‌های زراعی، تقویم آبیاری گیاهان زراعی مختلف متداول، طیف گسترده ترکیبات کشت گیاهان زراعی و محدودیت اراضی قابل کشت در تعیین الگوی تولید مناطق مختلف اثرگذار هستند؛ لذا بهترین روشی که می‌تواند اطلاعات نامبرده را در جهت تدوین الگوی کشت و بهینه‌سازی تولید به کار گیرد، استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی[1] است (باقریان و همکاران، ۱۳۸۶). در بررسی‌های تجربی، بهینه‌سازی نسبت معیارها، از بهینه‌سازی انفرادی هر معیار، دید و بینش مناسب‌تری را ارائه داده و این مهم از این حقیقت که نسبت‌ها رویکرد طبیعی‌تر و جامع‌تری را برای بحث پیرامون مسائل پایداری نظام‌های کشاورزی ارائه می‌دهد، نشأت گرفته است. بنابراین، برنامه‌ریزی کسری[2] یکی از معروف‌ترین مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای حالت‌هایی است که هدف‌های آن خارج قسمت دو تابع می‌باشند. محققان در سال‌های أخیر کوشیده‌اند تا به کمک آن به ارزیابی و محاسبه پایداری نظام‌های تولیدی بپردازند. بررسی‌های پرشماری در داخل و خارج کشور با استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی کسری به ارزیابی پایداری توسعه پرداخته‌اند. از جمله کهنسال و فیروز زارع (۱۳۸۷)، در پژوهشی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی کسری فازی با هدف‌های چندگانه، الگوی کشت همسو با کشاورزی پایدار را برای استان خراسان شمالی تعیین و نتایج را با الگوی بهینه برنامه‌ریزی خطی ساده و الگوی کشت کنونی منطقه مقایسه کردند. نتایج به دست آمده از الگوی برنامه‌ریزی کسری فازی با هدف‌های چندگانه نشان داد، حرکت به سمت پایداری از تنوع کشت منطقه خواهد کاست و شماری از گیاهان زراعی را از الگوی کشت بهینه ناشی از مدل برنامه‌ریزی خطی ساده و الگوی کشت کنونی منطقه حذف می‌کند. امینی فسخودی و نوری (۱۳۹۰)، در پژوهشی به ارزیابی پایداری و تعیین الگوی کشت

[1] Mathematical Programming
[2] Fractional Programming

نظام‌های زراعی بر پایه بهینه سازی بهره‌برداری از منابع آب و خاک با استفاده از الگوهای غیرخطی برنامه‌ریزی ریاضی پرداخته اند. برای این منظور مدل تحقیق در قالب برنامه‌ریزی کسری با هدف کارا کردن نسبت‌های "سود به مصرف آب" و "اشتغال به مصرف آب"به عنوان شاخص‌های پایداری در یک نظام زراعی تدوین و با اجرای پیش‌فرض‌های مختلف، مناسب‌ترین الگوی کشت معرفی شد. آذر و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی خود به طراحی مدل ریاضی کسری برنامه‌ریزی تولید با رویکرد فازی برای شرکت مبل خاورمیانه پرداختند. هدف اصلی شرکت بیشینه کردن کسر سود ناشی از مجموع تولیدات به هزینه کل می باشد. عظیمی فرد و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی کسری به بررسی پایداری منابع آب در شهرستان قوچان پرداختند. برای این منظور از نسبت سود به مصرف آب استفاده و شاخص پایداری منابع آب برای شهرستان قوچان به دست آمد. نتایج بیانگر این است، با استفاده از برنامه‌ریزی کسری میزان آب استفاده شده نسبت به برنامه‌ریزی خطی کمتر بوده و از سویی سود منطقه نیز کاهش خواهد یافت. کاوند و همکاران (۱۳۹۲)، در بررسی خود با استفاده از مدل برنامه‌ریزی کسری چند هدفه به تعیین برنامه زراعی شهرستان بروجرد پرداختند. نتایج نشان داد، الگوی پیشنهادی برنامه‌ریزی خطی ساده با الگوی برنامه‌ریزی کسری اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارد. گومز و همکاران[1] (۲۰۰۶) با استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی آرمانی کسری در یک دوره ۲۵ ساله، مدلی برای برنامه‌ریزی بهره‌برداری از جنگل در کوبا ارائه داده و راهبردهایی را برای حفاظت بلندمدت جنگل‌ها و جلوگیری از نابودی آنها از طریق لحاظ کردن هدف‌های زیست‌محیطی و اقتصادی کسری پیشنهاد دادند. همچنین چاکرابورتی و گوبتا[2] (۲۰۰۲)، سینگ و همکاران[3] (۲۰۱۰)، میشرا و سینگ[4] (۲۰۱۳)، لاشوانی[5] (۲۰۱۴) در پژوهش‌های جداگانه‌ای به بررسی روش‌های حل الگوهای برنامه‌ریزی کسری چندهدفه قطعی و فازی پرداختند. مرور نتایج بررسی‌های مختلف داخلی و خارجی انجام گرفته نشان می‌دهد، الگوی کشت دربیشتر مناطق بررسی شده بهینه نبوده و به کارگیری الگوهای مختلف برنامه‌ریزی ریاضی منجر به بهبود تخصیص منابع دردسترس می‌شوند. در طول دهه‌های أخیر، بررسی‌های مربوط به تخصیص منابع در بخش کشاورزی، به طور عمده روی هدف بیشینه‌سازی

[1] Gomez et al
[2] Chakraborty and Gupta
[3] Singh et al
[4] Mishra and Singh
[5] Lachhwani

منافع اقتصـادی کشـاورزان متمرکز شـده‌اند. این توجه بیش از حد منجر به غفلت از پیامدهای زیسـت‌محیطی آن مانند استفاده بی‌رویه از منابع آبی، سموم و کودهای شیمیایی شده است. لذا ارائهٔ معیارهای عملیاتی مناسب برای تدوین الگوی بهینه کشت و مدیریت نظام‌های کشاورزی با اسـتفاده از تعریف‌های مختلف توسـعهٔ پایدار بسـیار ضـروری اسـت. از این‌رو با توجه به مبانی کشـاورزی پایدار و جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، این بررسی درصدد دستیابی به هدف‌های چندگانهٔ بیشینه کردن بازده برنامه‌ای یا درآمد خالص، بیشینه سازی سطح اشتغال نیروی‌کار، کاهش مصـرف منابع آبی، سـموم و کودهای شـیمیایی و بهبود بهره‌وری آب، کود و سموم شیمیایی است.

لذا با توجه به هدف‌های نامبرده بایستی به سمت استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه پیش رفت. برای این منظور درآغاز هدف‌های اشاره شده را در قالب شاخص‌های پایداری و بهره‌وری منابع تعریف و آن‌گاه با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی کسری چندهدفه و چندهدفه فازی، مناسب‌ترین الگوی کشت در قالب محدودیت‌های فنی تولید و تأمین نیازهای دامی منطقه معرفی می‌شود. به این ترتیب هدف اصلی و عمده این بررسی، کاربرد رویکرد برنامه‌ریزی غیرخطی به عنوان روشی برای ارزیابی و سنجش پایداری در نظام‌های زراعی و ارائهٔ الگوی بهینه زراعی پایدار در دشت ماهیدشت به عنوان پژوهش موردی است. این دشت یکی از دشت‌های حاصل‌خیز در محدوده استان کرمانشاه بوده، اما در سالیان اخیر با توجه به ازدیاد جمعیت، بهره‌برداری غیراصولی از منابع آب و خاک و همچنین توسعه روزافزون برداشت از منابع آب زیرزمینی، ظرفیت آبخوان توانایی تأمین تقاضای روزافزون را ندارد. همچنین با توجه به امکانات محدود برای افزایش درآمد خرده‌مالکان، استفاده بهتر و بهینه از منابع در دسترس و تدوین الگوی کشت پایدار بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

روش تحقیق

با به کارگیری مدل‌های برنامه‌ریزی کسـری می‌توان پیچیدگی‌های ناشـی از غیرخطی بودن، خطرپذیری و نبود حتمیت در مسـائل کشـاورزی را با افزودن شـمار معیارهای تصمیم‌گیری در مـدل‌های ریاضـی لحاظ کرد. از این‌رو کاربردهای بسـیاری در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع و نظام‌های زراعی در راسـتای دستیابی به توسعه پایدار دارند (رومرو و رهمن[1]، ۱۹۸۹؛ و کهنسال و فیروز زارع، ۱۳۸۷).

[1] Romero and Rehman

برنامه‌ریزی کسری تک‌هدفه[1]:

ساختار ریاضی مدل برنامه‌ریزی کسری را می‌توان با فرض مثبت بودن مخرج کسر در S، برای مسائل تک‌هدفه به صورت زیر بیان کرد:

$$Max\ Z = \frac{\left(c^T x + \alpha\right)}{\left(d^T x + \beta\right)} \qquad (۱)$$

$$s.t:\ \ x \in S = \{x \in R^n \mid Ax \le b; x \ge 0; b \in R^m\}$$

که در آن c و d بردار ضریب‌ها، x بردار متغیرهای تصمیم در R^n، α و β مقادیر ثابت و b بردار مقادیر سمت راست محدودیت‌ها در R^m است. مسئله کسری بالا را می‌توان با اعمال تغییر متغیر $t = 1/(d^T x + \beta)$ و $y = x.t$ با فرض مثبت بودن مخرج کسر، به صورت برنامه‌ریزی خطی معمولی با یک محدودیت تساوی و یک متغیر اضافی t به صورت زیر تبدیل کرد:

$$Max\ Z = \left(c^T y + \alpha\right)$$
$$s.t:\ Ay - bt \le 0 \quad ; \quad d^T y + \beta t = 1 \quad ; \quad y, t \ge 0\} \qquad (۲)$$

روش بالا بر این فرض اساسی بنا نهاده شده است که چنانچه $\left(y^*, t^*\right)^T$ یک پاسخ بهینه برای مدل تبدیل‌یافته خطی بالا باشد، $x^* = y^*/t^*$ پاسخ بهینه‌ای برای مسئله کسری اولیه خواهد بود.

برنامه‌ریزی کسری چندهدفه[2]:

در مسائل دنیای واقعی اغلب هدف‌های پرشمار و متناقضی مطرح بوده و دستیابی همزمان به آنها برای یک واحد تصمیم‌گیری مهم و ضروری است. در چنین وضعیتی برنامه‌ریزی کسری تک‌هدفه نمی‌تواند پاسخگوی خواسته‌های تصمیم‌گیرندگان و سیاستگذاران باشد. لذا بایستی به سمت به‌کارگیری الگوهای برنامه‌ریزی کسری چندهدفه پیش رفت. شکل کلی یک مسئله برنامه‌ریزی کسری چندهدفه قطعی به صورت زیر تعریف می‌شود:

---

[1] One-Objective Fractional Programming
[2] Multi-Objective Fractional Programming

$$Optimize\ Z_k(X) = \frac{(c_k x + \alpha_k)}{(d_k x + \beta_k)},\ k = 1,2,\ldots,K$$
$$s.t:$$
$$x \in S = \{x \in R^n \mid Ax \begin{pmatrix} \le \\ = \\ \ge \end{pmatrix} b\ ;\ x \ge 0\ ;\ b \in R^m\} \qquad (۳)$$

که در آن $c_k, d_k \in R^n$ و α_k و β_k اعداد ثابت و $S \neq \phi$ و k هدف‌های کسری است. به طورمعمول متداول است که به ازای هر $x \in S$ مخرج کسر مثبت فرض شود ($d_k x + \beta_k > 0$). برای حل مدل‌های برنامه‌ریزی کسری چندهدفه روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از ابزار برجسته برای تحلیل تصمیم‌های چندهدفه در مدیریت برنامه‌ریزی آرمانی[۱] بوده و از ویژگی‌های آن دستیابی توأم به هدف‌های مختلف بر مبنای اولویت‌بندی آنها است. لذا چنانچه چند هدف کسری با عبارت‌های خطی در صورت و مخرج مدنظر و برای هرکدام از آنها مقدار مطلوبی مانند g وجود داشته باشد، الگوی برنامه‌ریزی آرمانی کسری چندهدفه[۲] برای حل مسئله بالا در حالت بیشینه‌سازی به صورت زیر خواهد بود:

$$Min \sum_k w_k n_k \qquad (۴)$$
$$s.t:$$
$$x \in S = \{x \in R^n \mid Ax \le b; x \ge 0; b \in R^m\}$$
$$\frac{(c_k^T x + \alpha_k)}{(d_k^T x + \beta_k)} + n_k - p_k = g_k \quad ; \quad n_k, p_k \ge 0$$

در الگوی بالا، w_k وزن هدف k ام، n_k و p_k نیز به ترتیب متغیرهای انحرافی منفی و مثبت هدف kام برای دستیابی به مقدار مطلوب g_k هستند. لازم به یادآوری است که در الگوی برنامه‌ریزی آرمانی، در هدف‌های بیشینه‌سازی متغیر انحرافی n_k و در هدف‌های کمینه‌سازی متغیر انحرافی p_k کمینه می‌شوند. برای خطی کردن محدودیت‌های تساوی غیرخطی بالا، هر معادله در مخرج $(d_k^T x + \beta_k)$ با فرض مثبت بودن آن در فضای تصمیم، ضرب و در نهایت مدل آرمانی خطی زیر بیان می‌شود:

---

[۱] Goal Programming
[2] Multi-Objective Fractional Goal Programming

$$Min \sum_k w_k n_k^{'} \qquad (۵)$$

$$x \in S = \{x \in R^n \mid Ax \le b; x \ge 0; b \in R^m\}$$

$$\left(c_k^T x + \alpha_k\right) - u_k \left(d_k^T x + \beta_k\right) + n_k^{'} - p_k^{'} = 0$$

$$n_k \ , p_k \ge 0$$

مـدل خطی أخیر معـادل مدل غیرخطی بالا بوده و بین متغیرهای انحرافی آنها رابطه زیر برقرار است:

$$n_k^{'} = n_k \left(d_k^T x + \beta_k\right) \quad , \quad p_k^{'} = p_k \left(d_k^T x + \beta_k\right) \qquad (۶)$$

برنامه‌ریزی کسری چندهدفه فازی[1]:

اصلی‌ترین ضعف الگوهای برنامه‌ریزی کسری چندهدفه این است که همهٔ سطوح آرمانی در نظر گرفته شـده باید به صورت قطعی باشند. برای چیرگی بر این چالش مفهوم فازی که نخستین‌بار توسط زاده[2] (۱۹۶۸) ارائه شده بود، برای مسائل بهینه‌سازی چندهدفه مطرح شد. هدف‌های در روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی، به صـورت قطعی نبوده؛ این عمل باعث می‌شـود که نسـبت به برنامه‌ریزی آرمانی برتری یابد. در برنامه‌ریزی آرمانی فازی سـطوح آرمانی هدف‌های مختلف به صـورت فازی بررسـی شـوند، در حالی که مقادیر سـمت راست محدودیت‌ها می‌تواند به صورت فازی یا غیر فازی باشـند که بسـتگی به محیط تصـمیم‌گیری دارد. در این بررسی مقادیر سمت راسـت محدودیت‌ها به صـورت قطعی (مشـخص) و سـطوح آرمانی هدف‌ها به صـورت فازی (نامشخص) در نظر گرفته شد.

اگر فرض شـود که سطح آرمان هدف k ام ($Z_k(X)$) برابر با g_k باشد، آن‌گاه آرمآنهای فازی عبارت اند از:

(الف) هدف بیشینه‌سازی $Z_k(X) \gtrsim g_k$

(ب) هدف کمینه‌سازی $Z_k(X) \lesssim g_k$

در محدودیت‌های آرمانی بالا علامت‌های $\gtrsim$ و $\lesssim$ به ترتیب بیانگر نبود قطعیت (فازی) سطوح آرمانی در نظر گرفته شده برای هر یک از هدف‌های بیشینه‌سازی و کمینه‌سازی می‌باشد.

[1] Fuzzy multi-objective fractional programming
[2] Zadeh

اکنون آرمان‌های فازی توسط توابع عضویت[1] مرتبط با آنها مشخص می‌شوند. تابع عضویت μ_k برای بیشینه‌سازی k امین آرمان فازی ($Z_k(X) \gtrsim g_k$) برابر مدل رائو و همکاران[2] (۱۹۹۲) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\mu_k(X) = \begin{cases} 1 & if \quad Z_k(X) \geq g_k \\ \dfrac{Z_k(X) - l_k}{g_k - l_k} & if \quad l_k \leq Z_k(X) \leq g_k \\ 0 & if \quad Z_k(X) \leq l_k \end{cases} \qquad (۷)$$

در رابطه (۴)، l_k حد پایین k امین آرمان فازی و $g_k - l_k$ میزان انحراف شایان چشمپوشی[3] از سطح آرمانی در نظر گرفته شده برای k امین هدف است. به این مفهوم که برای تصمیم‌گیرنده مقادیری کمتر از g_k به میزان انحراف در نظر گرفته شده در دستیابی به هدف k ام، مورد رضایت است.

از سوی دیگر، تابع عضویت $\mu_k(X)$ برای کمینه‌سازی k امین آرمان فازی ($Z_k(X) \lesssim g_k$) به صورت زیر است:

$$\mu_k(X) = \begin{cases} 1 & if \quad Z_k(X) \leq g_k \\ \dfrac{u_k - Z_k(X)}{u_k - g_k} & if \quad g_k \leq Z_k(X) \leq u_k \\ 0 & if \quad Z_k(X) \geq u_k \end{cases} \qquad (۸)$$

که در آن، u_k حد بالای k امین آرمان فازی و $u_k - g_k$ میزان انحراف شایان چشمپوشی از سطح آرمانی در نظر گرفته شده برای k امین هدف است. به این مفهوم که برای تصمیم‌گیرنده مقادیری بیشتر از g_k به میزان انحراف در نظر گرفته شده در دستیابی به هدف k ام، مورد رضایت است.

در رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی، بالاترین مقدار تابع عضویت برابر با یک است. بنابراین آرمآنهای عضویت منعطف مرتبط با توابع عضویت بالا با سطوح آرمانی یک عبارت‌اند از:

$$\frac{Z_k(X) - l_k}{g_k - l_k} + d_k^- - d_k^+ = 1 \qquad (۹)$$

---

[1] Membership function
[2] Rao et al
[3] Aspiration level

$$\frac{u_k - Z_k(X)}{u_k - g_k} + d_k^- - d_k^+ = 1 \qquad (۱۰)$$

که در آن، $d_k^- \geq 0, d_k^+ \geq 0$ انحراف‌های بالا و پایین از سطوح آرمانی را بیان می‌کنند و حاصل‌ضرب آنها برابر با صفر است ($d_k^- . d_k^+ = 0$). در برنامه‌ریزی آرمانی فازی بدون توجه به هدف‌های بیشینه یا کمینه‌سازی، متغیرهای انحرافی پایین (d_k^-) کمینه می‌شوند.

جهت خطی‌سازی آرمان عضویت k ام می‌توان به صورت زیر عمل کرد:

$$L_K Z_k(X) - L_K l_K + d_k^- - d_k^+ = 1$$

که در آن $L_K = \frac{1}{g_k - l_k}$ می باشد. در ادامه خواهیم داشت:

$$L_K(c_k x + \alpha_k) + d_k^-(d_k x + \beta_k) - d_k^+(d_k x + \beta_k) = L_k^{'}(d_k x + \beta_k)$$

که در آن $L_k^{'} = 1 + L_K l_k$ می‌باشد.

$$C_K x + d_k^-(d_k x + \beta_k) - d_k^+(d_k x + \beta_k) = G_K \qquad (۱۱)$$

$$C_K = L_k c_k - L_k^{'} d_k \quad , \quad G_k = L_k^{'} \beta_k - L_k \alpha_k$$

حال با روش تغییر متغیر که توسط کرن بلوث و استیور[1] (۱۹۸۱) ارائه شد، می‌توان آرمان بالا را به صورت زیر خطی‌سازی کرد:

فرض کنید:

$$D_k^+ = d_k^+(d_k x + \beta_k), D_k^- = d_k^-(d_k x + \beta_k)$$

در نتیجه داریم:

$$C_k x + D_k^- - D_k^+ = G_k \qquad (۱۲)$$

از آن جایی که: $d_k x + \beta_k > 0, d_k^-, d_k^+ \geq 0$ می باشد، لذا داریم:

$$D_k^-, D_k^+ \geq 0, D_k^- . D_k^+ = 0$$

در تصمیم‌گیری، کمینه‌سازی d_k^- به معنی کمینه‌سازی $D_k^- / (d_k x + \beta_k)$ می‌باشد، از این‌رو در صورتی که آرمان عضویت به طورکامل محقق شود، $d_k^- = 0$ و هنگامی که موفقیت در تحقق آرمان، صفر باشد $d_k^- = 1$ می‌باشد.

از آنجایی که $d_k^- \leq 1$ می‌باشد، محدودیت زیر به مدل اضافه خواهد شد:

$$\frac{D_k^-}{(d_k x + \beta_k)} \leq 1 \qquad (۱۳)$$

[1] Kornbluth and Steuer

یعنی داریم: $-d_k x + D_k^- \le \beta_k$

از این‌رو مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی مسئلهٔ بالا را می‌توان به صورت رابطه (۱۱) نوشت:

$$\begin{aligned} &Minimize \quad Z = \sum_{k=1}^{K} w_k D_k^- \\ &and \ satisfy \quad C_k x + D_k^- - D_k^+ = G_k \\ &subject \ to \ AX \begin{pmatrix} \le \\ = \\ \ge \end{pmatrix} b \\ &and \quad -d_k x + D_k^- \le \beta_k \\ &x \ge 0, D_k^-, D_k^+ \ge 0, k = 1,2,...,K \end{aligned} \qquad (۱۴)$$

در این مدل Z دربرگیرندهٔ انحراف‌های منفی موزون از سطوح آرمانی بوده و وزن هر یک از آنها بیانگر اهمیت نسبی تحقق آرمان مربوطه می‌باشد.

اطلاعات مورد استفاده و الگوی تجربی تحقیق

گیاهان زراعی گزینش‌شده در این بررسی حدود ۹۷ درصد از کل سطح زیر کشت آبی دشت ماهیدشت را شامل می‌شود که عبارت‌اند از: گندم، ذرت دانه‌ای، جو، هندوانه، گوجه فرنگی، سبزی‌های برگی، یونجه، چغندرقند، ذرت علوفه‌ای، پیاز و نخود. آمار و اطلاعات مورد نیاز بررسی شامل عملکرد، قیمت سر مزرعه، درآمد فرعی، هزینه‌های تولید، میزان استفاده از کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، نیروی کار و ماشین‌ها و ادوات کشاورزی است که با تکمیل ۲۶۳ پرسشنامه در سال ۱۳۹۳ به روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دومرحله‌ای گردآوری شد. با توجه به میزان عملکرد و قیمت سر مزرعه، درآمد ناخالص گیاهان زراعی مختلف محاسبه و پس از جمع با درآمد فرعی و کسر هزینه‌های متغیر تولید در مراحل سه‌گانه کاشت، داشت و برداشت، درآمد خالص یا بازده برنامه‌ای هر محصول به دست آمد. نیاز خالص آبی گیاهان زراعی مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار NETWAT، استخراج و بازده آبیاری منطقه با تقسیم کل نیاز خالص آبی (حاصل‌ضرب سطوح زیرکشت کنونی گیاهان زراعی در نیاز خالص آبی) بر کل مصرف منابع آبی الگوی کشت کنونی محاسبه شد. سپس از تقسیم نیاز خالص آبی بر بازده آبیاری منطقه، نیاز ناخالص آبی برای گیاهان زراعی در ماه‌های مختلف به دست آمده که به عنوان ضریب‌های فنی مصرف آب در الگوها استفاده می‌شود. لازم به یادآوری است که اطلاعات کل مصرف منابع آبی الگوی کشت کنونی از سازمان آب منطقه‌ای استان کرمانشاه و اطلاعات

مربوط بـه الگوی کشـــت کنونی و همچنین نیـازهای علوفه‌ای و تغذیه‌ای دام و طیور منطقه از سـازمان جهاد کشـاورزی اسـتان کرمانشـاه گردآوری شد. این بررسی درصدد ارائهٔ الگوی بهینه زراعی مبتنی بر دستیابی همزمان به معیارهای افزایش بازده برنامه‌ای و سطح اشتغال نیروی‌کار و همچنین کاهش مصرف منابع آب، سموم و کودهای شیمیایی با لحاظ محدودیت‌های فیزیکی و تأمین نیازهای دامی منطقه اسـت. لذا معیارهای یادشـده در قالب هدف‌های بیشـینه کردن نسـبت‌های بازده برنامه‌ای به مصرف منابع آب (بهره‌وری فیزیکی آب)، بازده برنامه‌ای به مصرف کودهای شـیمیایی (بهره‌وری فیزیکی کودهای شـیمیایی)، بازده برنامه‌ای به مصـرف سـموم شـیمیایی (بهره‌وری فیزیکی سـموم شـیمیایی) و اشـتغال نیروی‌کار به مصرف منابع آب بیان و سـپس در قالب پیش‌فرض‌های مختلف با اسـتفاده از الگوهای برنامه‌ریزی کسـری تک‌هدفه، کسری چندهدفه قطعی و کسری چندهدفه فازی، الگوهای بهینه زراعی پیشنهاد می‌شوند.

بر این پایه الگوی تجربی مدل برنامه‌ریزی کسری چندهدفه برای دستیابی به مجموعه هدف‌های مورد نظر تحقیق، به صورت زیر فرموله و مطابق با الگوهای برنامه‌ریزی آرمانی قطعی و فازی شرح داده شده در بخش قبل، حل شد.

$$MAX: \left\{ \frac{\sum_c GM_c x_c}{\sum_c W_c x_c}, \frac{\sum_c GM_c x_c}{\sum_c FE_c x_c}, \frac{\sum_c GM_c x_c}{\sum_c SE_c x_c}, \frac{\sum_c L_c x_c}{\sum_c W_c x_c} \right\} \quad (I)$$

$$s.t$$

$$\sum_c x_c = TX \quad (II)$$

$$\sum_c ME_c x_c \le TME \quad (III)$$

$$\sum_c CO_c x_c \le TCO \quad (IV)$$

$$\sum_c W_{ci} x_c \le AW_i, \quad \forall i \quad (V) \qquad (۱۵)$$

$$0.44\times\left[(RA_1\times x_1)+(RA_3\times x_3)+0.66\times(RA_{11}\times x_{11})\right]+ \quad (VI)$$
$$0.63\times(0.1\times RA_1\times x_1)+0.66\times(0.087\times RA_8\times x_8)\ge TDNC$$

$$0.51\times(RA_7\times x_7)+0.21\times(RA_9\times x_9)\ge TDNF \quad (VII)$$

$$0.74\times(RA_3\times x_3)\ge TDNS \quad (VIII)$$

$$x_c \ge 0, \quad \forall c \quad (IX)$$

$$c=1,2,...,11 \quad i=1,2,...,12$$

در الگوی بالا، c نمایه مربوط به گیاهان زراعی مختلف، i نمایه ماه‌های سال، x_c سطح زیرکشت گیاه زراعی c ام، GM_c بازده برنامه‌ای گیاه زراعی c ام، W_c و W_{ci} به‌ترتیب کل نیاز ناخالص آبی و نیاز ناخالص آبی در ماه i ام، FE_c کودهای شیمیایی مورد نیاز، SE_c سموم شیمیایی مورد نیاز، L_c نیروی‌کار مورد نیاز، ME_c ساعت کار ماشینی مورد نیاز، CO_c هزینه‌های جاری مورد نیاز، RA_c عملکرد و AW_i کل آب در دسترس در ماه i ام است. همچنین TX، TME و TCO به‌ترتیب کل زمین، کل ساعت کار ماشینی و کل سرمایه در دسترس، $TDNC$ کل نیاز دامی به گیاهان زراعی زراعی، $TDNF$ کل نیاز دامی به گیاهان علوفه‌ای و $TDNS$ کل نیاز دامی به اقلام دانه‌ای در منطقه مورد بررسی بر حسب TDN است. کل ساعت کار ماشینی و کل سرمایه در دسترس به دلیل در موجود نبودن آمار و اطلاعات، از حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی واسنجی به دست آمده است.

در الگوی تجربی بالا، رابطه (I) بیانگر توابع هدف کسری بوده که با توجه به محدودیت‌های مختلف بیشینه می‌شوند. این توابع به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ بازده برنامه‌ای به مصرف منابع آب (بهره‌وری فیزیکی آب)، بازده برنامه‌ای به مصرف کودهای شیمیایی (بهره‌وری فیزیکی کودهای شیمیایی)، بازده برنامه‌ای به مصرف سموم شیمیایی (بهره‌وری فیزیکی سموم شیمیایی) و اشتغال نیروی‌کار به مصرف منابع آب می‌باشند. رابطه (II) مربوط به محدودیت اراضی زراعی آبی بوده و نشان می‌دهد که مجموع زمین مورد استفاده در الگوی پیشنهادی باید برابر با زمین در دسترس باشد و به این معنی است که بایستی کل زمین‌های آبی زیرکشت کنونی در الگوی پیشنهادی کشت شود و زمین بدون استفاده‌ای باقی نماند. روابط (III) و (IV) مربوط به محدودیت‌های کل ساعت کار ماشینی و کل سرمایه مصرفی در الگوی پیشنهادی بوده و به این معنی است که ساعت کار ماشینی و سرمایه مورد نیاز نبایستی از کل مقادیر در دسترس منطقه بیشتر باشد. به همین صورت رابطه (V) مربوط به محدودیت آب در دسترس ماهانه می‌باشد. با توجه به اینکه بیش از نیمی از مردم دشت ماهیدشت افزون بر کشت گیاهان زراعی، به فعالیت دامپروری نیز مشغول اند؛ بنابراین برای حرکت به سمت خودکفایی و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل، از الزام‌های الگوی کشت بهینه پیشنهادی منطقه، کشت گیاهانی است که بتواند نیاز تغذیه‌ای دام‌ها را تأمین کند. برای این منظور با استفاده از اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی، مجموعه محدودیت‌های بالا برای تأمین نیازهای گفته شده در الگوهای پیشنهادی به صورت روابط (VI)، (VII) و ($VIII$) در نظر گرفته می‌شود. هر یک از گیاهان زراعی تولیدی دارای

ضـریبی برای تبدیل به نیاز غذایی دام‌ها بر حسب TDN (میزان غذای قابل هضم) هستند. که اطلاعات مربوط به ضـریب‌های تبدیل گیاهان زراعی مختلف به مقدار غذای قابل هضـم و نیاز علوفه‌ای دام‌های دشت ماهیدشت در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱) ضریب تبدیل گیاهان زراعی مختلف و نیاز غذایی دام‌های دشت ماهیدشت

	محصولات	ضریب تبدیل (کیلوگرم/TDN)	کل نیاز دامی (TDN)
فرعی	کاه گندم، جو و نخود	۰/۴۴	۱۲۱۹۱۰۰۰
	سبوس گندم	۰/۶۳	
	تفاله چغندرقند	۰/۶۶	
گیاهان علوفه‌ای	یونجه	۰/۵۱	۴۸۷۶۰۰۰
	ذرت علوفه‌ای	۰/۲۱	
اقلام دانه‌ای	جو	۰/۷۴	۷۳۱۴۰۰۰

منبع: سازمان جهاد کشاورزی استان ۱۳۸۹

برای پیشنهاد الگوی بهینه کشت در راستای پایداری کشاورزی منطقه مورد بررسی، درآغاز توابع بازده برنامه‌ای، اشتغال نیروی‌کار، مصرف آب، مصرف کودها و سموم شیمیایی استخراج و سپس نسبت‌های بازده برنامه‌ای به مصرف منابع آب (بهره‌وری جزیی آب)، بازده برنامه‌ای به مصرف کودهای شیمیایی (بهره‌وری جزیی کودهای شیمیایی)، بازده برنامه‌ای به مصرف سموم شیمیایی (بهره‌وری جزیی سموم شیمیایی) و اشتغال نیروی‌کار به مصرف منابع آب به عنوان هدف‌هایی که پژوهش پیش‌رو به دنبال بیشینه‌سازی آنهاست، ایجاد شده است. هر کدام از این نسبت‌ها با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی کسری تک‌هدفه بیشینه شده (پیش‌فرض اول تا چهارم) تا مقادیر آرمانی مربوط به آنها به دست آید (این نسبت‌ها با استفاده از الگوریتم تشریح شده در بخش مواد و روش‌ها خطی‌سازی شده‌اند). سپس با در نظر گرفتن مقادیر آرمانی به دست آمده و تدوین یک الگوی برنامه‌ریزی کسری چندهدفه قطعی برای بیشینه‌سازی همزمان هدف‌های اشاره شده، الگوی کشت دیگری (پیش‌فرض پنجم) به دست آمده و در نهایت با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی کسری چندهدفه فازی به بیشینه‌سازی همزمان هدف‌های اشاره شده در شرایط نبود قطعیت (پیش‌فرض ششم) پرداخته شده است.

نتایج و بحث

پس از استخراج اطلاعات پرسشنامه‌های تکمیل شده، اطلاعات درآمدی و ضریب‌های فنی تولید گیاهان زراعی مختلف محاسبه شده که نتایج آن در جدول (۱) پیوست ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین درآمد خالص به‌ترتیب مربوط به محصولات پیاز، گوجه‌فرنگی، هندوانه و چغندرقند، کمترین میزان مصرف کودها و سموم شیمیایی به‌ترتیب مربوط به محصولات نخود، یونجه، سبزی‌های برگی و جو، کمترین میزان مصرف آب به‌ترتیب مربوط به محصولات جو، گندم، نخود و سبزی‌های برگی و بیشترین میزان به‌کارگیری نیروی‌کار به‌ترتیب مربوط به محصولات پیاز، گوجه‌فرنگی، هندوانه و چغندرقند می‌باشد. جدول (۲) پیوست سطوح زیرکشت کنونی، سطوح کشت پیشنهادی در الگوهای بهینه که با حل مدل‌های مختلف برنامه‌ریاضی کسری به دست آمده و درصد تغییرپذیری‌های آنها نسبت به وضعیت موجود را نشان می‌دهد. همچنین در جدول (۳) پیوست مقادیر معیارها و شاخص‌های الگوهای مختلف برنامه‌ریاضی کسری و درصد تغییرپذیری‌های آنها نسبت به وضعیت کنونی ارائه شده است. همان‌طور که در جدول (۳) پیوست مشاهده می‌شود مقادیر شاخص‌های بهره‌وری جزیی آب، کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی در وضعیت کنونی منطقه به ترتیب برابر با ۰/۲۹، ۶/۹۲ و ۱۱۲۷/۹۵ می‌باشد. این شاخص‌ها بیانگر این مهم بود که به طور میانگین به ازای مصرف یک متر مکعب آب، یک کیلوگرم کودهای مختلف شیمیایی و یک لیتر سموم مختلف شیمیایی به ترتیب ۲۹۰۰، ۶۹۲۰۰ و ۱۱۲۷۹۵۰۰ ریال درآمد خالص به دست آمده است.

با توجه به نتایج جدول (۲) و (۳) پیوست در پیش‌فرض اول که با هدف بیشینه کردن بهره‌وری جزیی آب تدوین شده، کشت گندم، جو، هندوانه، سبزی‌های برگی و ذرت علوفه‌ای پیشنهاد می‌شود. در این پیش‌فرض مقادیر شاخص‌های بهره‌وری جزیی آب، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و نسبت اشتغال نیروی‌کار به مصرف منابع آب به‌ترتیب به میزان ۳۶/۱۷، ۹۳/۶۸، ۶۰/۴۵ و۱۰۵/۱۱ درصد افزایش یافته‌اند. همچنین معیارهای بازده برنامه‌ای و اشتغال نیروی‌کار به ترتیب ۳۰/۲۸ و ۹۶/۲۴ درصد افزایش و مصرف منابع آب، کودها و سموم شیمیایی به‌ترتیب۴/۳۲، ۳۲/۷۳ و ۱۸/۸۰ درصد نسبت به وضعیت موجود کاهش می‌یابند. در پیش‌فرض دوم که با هدف بیشینه کردن بهره‌وری جزیی مصرف کودهای شیمیایی تدوین شده است، کشت جو، سبزی‌های برگی، یونجه، ذرت علوفه‌ای و نخود پیشنهاد می‌شود. در این پیش‌فرض نیز مقادیر شاخص‌های بهره‌وری جزیی آب، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و نسبت اشتغال

نیروی‌کار به مصرف منابع آب به‌ترتیب به میزان ۱۲/۹۶، ۱۲۰/۲۰، ۶۰/۳۱ و۱۳۵/۱۸ درصد افزایش یافته‌اند. همچنین معیارهای بازده برنامه‌ای و اشتغال نیروی‌کار به ترتیب ۷/۰۶ و ۱۲۲/۹۰ درصد افزایش و مصرف منابع آب، کودها و سموم شیمیایی به‌ترتیب۵/۲۲، ۵۱/۳۸ و ۳۳/۲۲ درصد نسبت به وضعیت موجود کاهش می‌یابند. در پیش‌فرض سوم که هدف بیشینه کردن بهره‌وری جزیی مصرف سموم شیمیایی است، کشت گندم، جو، سبزی‌های برگی، یونجه، ذرت علوفه‌ای و نخود پیشنهاد شده و مقادیر شاخص‌های بهره‌وری جزیی آب، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و نسبت اشتغال نیروی‌کار به مصرف منابع آب به‌ترتیب به میزان ۲۳/۵۷، ۱۱۸/۵۴، ۶۷/۴۴ و۱۱۲/۲۹ درصد افزایش یافته‌اند. همچنین معیارهای بازده برنامه‌ای و اشتغال نیروی‌کار به ترتیب ۲۰/۴۰ و ۱۰۶/۸۵ درصد افزایش و مصرف منابع آب، کودها و سموم شیمیایی به‌ترتیب۲/۵۶، ۴۴/۹۱ و ۲۸/۰۹ درصد نسبت به وضعیت موجود کاهش می‌یابند. در پیش‌فرض چهارم که به دنبال بیشینه کردن نسبت نیروی کار به مصرف آب می‌باشد، پیشنهاد می‌شود که جو، هندوانه، سبزی‌های برگی، ذرت علوفه‌ای و نخود کشت شده و مقادیر شاخص‌های بهره‌وری جزیی آب، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و نسبت اشتغال نیروی‌کار به مصرف منابع آب به‌ترتیب به میزان ۱۵/۰۴، ۱۰۰/۴۰، ۵۱/۳۰ و۱۵۰/۱۴ درصد افزایش یافته‌اند. همچنین معیارهای بازده برنامه‌ای و اشتغال نیروی‌کار به ترتیب ۷/۲۱ و ۱۳۳/۱۱ درصد افزایش و مصرف منابع آب، کودها و سموم شیمیایی به‌ترتیب۶/۸۱، ۴۶/۵۰ و ۲۹/۱۴ درصد نسبت به وضعیت موجود کاهش می‌یابند. در پیش‌فرض پنجم نتایج الگوی برنامه‌ریزی آرمانی قطعی که با هدف دستیابی همزمان به هدف‌های کسری چهارگانهٔ یاد شده تدوین شده است، الگوی کشت پیشنهادی به طور دقیق همسان پیش‌فرض سوم می‌باشد. به همین ترتیب در پیش‌فرض ششم نتایج به دست آمده از الگوی برنامه‌ریزی آرمانی فازی که با هدف دستیابی همزمان به هدف‌های کسری اشاره شده و در شرایط نبود قطعیت آرمان‌ها تدوین شده است، کشت گندم، جو، هندوانه، سبزی‌های برگی، ذرت علوفه‌ای پیاز و نخود پیشنهاد می‌شود. در این پیش‌فرض مقادیر شاخص‌های بهره‌وری جزیی آب، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و نسبت اشتغال نیروی‌کار به مصرف منابع آب به‌ترتیب به میزان ۱۶/۱۴، ۱۰۲/۶۰، ۵۳/۳۹ و۱۴۹/۹۶درصد افزایش یافته‌اند. همچنین معیارهای بازده برنامه‌ای و اشتغال نیروی‌کار به ترتیب ۸/۹۶ و ۱۳۴/۵۶ درصد افزایش و مصرف منابع آب، کودها و سموم شیمیایی به‌ترتیب۶/۱۶، ۴۶/۲۱ و ۲۸/۹۵ درصد نسبت به وضعیت موجود کاهش می‌یابند. مشاهده می‌شود که همه‌ی هدف‌ها در جهت پایداری کشاورزی و الگوی کشت منطقه

بوده و همچنین نیازهای تغذیه‌ای و علوفه‌ای دام و طیور منطقه تامین شده است. در نهایت اشاره به این نکته بسیار ضروری است که گزینش الگوی برتر از میان پیش‌فرض‌های بالا به تصمیم سیاستگذاران کلان بخش کشاورزی بستگی خواهد داشت اما به طور کلی آشکار است که تدوین الگوی کشت با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی کسری چندهدفه منجر به حرکت در راستای پایداری کشاورزی شده و بهینه‌سازی نسبت معیارها از بهینه‌سازی انفرادی هر معیار، بینش مناسب‌تری را ارائه می‌دهد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در طول چند دهۀ أخیر طرفداران محیط‌زیست همواره به سبب رؤیت نشانه‌هایی مانند نبود توازن میان عرضه و تقاضای آب، اُفت سطح آبخوآنهای کشور، افزایش مصرف کودها و سموم شیمیایی و تخریب منابع خاک بر لزوم ایجاد یک سامانۀ کشاورزی پایدار تأکید کرده تا از این طریق به حفظ منابع محیطی باارزش به عنوان بستر فعالیت‌های اقتصادی پرداخته شود. بدین منظور ارزیابی پایداری نظام‌های زراعی برای جلوگیری از تخریب منابع آب و خاک و کاهش آسیب و زیان‌های اقتصادی و اجتماعی آن به یکی از اولویت‌های اساسی سیاستگذاران بخش کشاورزی تبدیل شده است. از این‌رو این پژوهش در راستای تدوین الگوی زراعی مناسب برای متعادل‌سازی مصرف کودها و سموم شیمیایی، برقراری توازن میان منابع در دسترس و وضعیت اقلیمی مناطق مختلف و بهره‌برداری بهینه از آنها به انجام رسیده که در آن با توجه به اینکه بهینه‌سازی نسبت معیارها از بهینه‌سازی انفرادی هر معیار دید و بینش مناسب‌تری ارائه می‌کند، از الگوهای مختلف برنامه‌ریزی کسری استفاده شده است. درآغاز با تهیه پرسشنامه و مصاحبه حضوری با کشاورزان منطقه مورد بررسی اطلاعات مورد نیاز گردآوری شد. سپس پس از به دست آوردن ضریب‌های فنی تولید و ایجاد توابع بازده برنامه‌ای، اشتغال نیروی‌کار، مصرف آب، مصرف کودهای شیمیایی و مصرف سموم شیمیایی به تشکیل نسبت‌های پایداری مختلف و اعمال محدودیت‌های فنی کشت گیاهان و تامین نیازهای علوفه‌ای و تغذیع‌ای دام‌های منطقه پرداخته شده و در نهایت شش الگوی زراعی برای منطقه مورد بررسی پیشنهاد شد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اظهار داشت که همۀ الگوهای پیشنهادی نسبت به الگوی کنونی منطقه پایدارتر بوده‌اند. لذا ضرورت دارد سیاستگذاران با توجه به هدف‌های کلی و منطقه‌ای مدنظرشان اجرای هر یک از الگوهای پیشنهادی را در اولویت قرار دهند که این امر نیازمند تدوین الزام‌های قانونی،

سیاست‌های تشویقی و تنبیهی و به‌کارگیری مروجان کشاورزی کارآزموده درجهت حرکت به سمت الگوهای پیشنهادی خواهد بود.

منابع

امینی فسخودی، ع و نوری، ه. ا. (۱۳۹۰) ارزیابی پایداری و تعیین الگوی کشت سیستمهای زراعی بر اساس بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع آب و خاک با استفاده از الگوهای غیرخطی برنامه‌ریزی ریاضی. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک. جلد ۱۵، (۵۵): ۹۹-۱۰۹*

آذر، ع. عندلیب اردکانی، داود و میرفخرالدینی، ح. (۱۳۹۰) طراحی مدل ریاضی کسری برنامه‌ریزی تولید با رویکرد فازی مورد بررسی: شرکت مبل خاورمیانه. *فصلنامه علمی-پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی. جلد ۹، (۲۲): ۲۳-۴۸*

باقریان، ع. صالح، ا و پیکانی، غ. ر. (۱۳۸۶) بهینه سازی الگوی کشت در منطقه کازرون با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی. ششمین کنفرانس دو سالانه انجمن اقتصاد کشاورزی ایران، مشهد ۸ و ۹ آبان.

عظیمی فرد، س. زارع مهرجردی، م. و مهرابی بشرآبادی، ح. (۱۳۹۲) بررسیپایداری منابع آب در شهرستان قوچان: رویکرد برنامه‌ریزی کسری. *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. جلد ۲۳، (۳): ۱-۱۱.*

کاوند، ح. سرگزی، ع. احمدزاده، ص. وصبوحی، م. (۱۳۹۲) تعیین برنامه زراعی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی بررسی موردی شهرستان بروجرد. *مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن. جلد ۱۰، (۱): ۵۹-۶۶.*

کهنسال، م و فیروز زارع،ع. (۱۳۸۷) تعیین الگوی بهینه کشت همسو با کشاورزی پایدار با استفاده از برنامه‌ریزی فازی کسری با هدف‌های چندگانه، بررسی موردی استان خراسان شمالی. *فصلنامه اقتصادکشاورزی و توسعه . جلد ۱۶، (۶۲): ۱-۳۱.*

Adams, W. M. (1990), Green Development: Environment and Sustainability

Beatley, T. (1995) Planning and sustainability: The elements of a new (improved?) paradigm. *Journal of Planning Literature, 4: 383-395.*

Chakraborty, M. and Gupta, S. (2002) Fuzzy mathematical programming for multi objective linear fractional programming problem. Fuzzy sets and systems, 3: 335-342.

Cruz, J. B. M. and Linnerooth-Bayer, J. (2004) A Sustainable Policy Making-Energy System for Colombia.

Dixon, C. (1991) Rural Development in Third World. London: Routledge.

Gómez, T., Hernández, M., León, M. A. and Caballero, R. (2006) A forest planning problem solved via a linear fractional goal programming model. *Forest Ecology and management, 1: 79-88.*

Kornbluth, J. S., & Steuer, R. E. (1981). Multiple objective linear fractional programming. *Management Science, 27(9), 1024-1039.*

Lachhwani, K. (2013) FGP approach to multi objective quadratic fractional programming problem. *International Journal of Industrial Mathematics, 1: 49-57.*

Mishra, B. and Singh, S. R. (2013) Linear fractional programming procedure for multi objective linear programming problem in agriculture system. Int J Comput Appl, 20: 45-52.

Rao, S.S., K. S.undararaju B.G., Prakash,., C. Balakrishna. 1992. Fuzzy goal programming approach for structural optimization , *AIAA journal, 30(5): 1425-1432.*

Romero, C. and Rehman, T. (2003) Multiple criteria analysis for agricultural decisions 11 Elsevier.

Saad, O. M. (2007) On stability of proper efficient solutions in multiobjective fractional programming problems under fuzziness. *Mathematical and computer modelling, 1: 221-231.*

Singh, P., Kumar, S. D. and Singh, R. K. (2010) Fuzzy Method for Multi-Objective Linear Plus Linear Fractional Programming Problem, *In International Mathematical Forum, 5: 2971-2983.*

Stancu-Minasian, I. M. & Pop, B. (2003) On a fuzzy set approach to solving multiple objective linear fractional programming problem. Fuzzy Sets and Systems, 3: 397-405.

WCED (1987) Our Common Future. New York: Oxford university press.

World Bank (2005), World Development Report. New York: Oxford

Zadeh, L. A. 1968. Fuzzy sets, Information and Control; 8: 338-53.

جدول (۱) ماتریس اطلاعات و ضریب‌های فنی تولید گیاهان زراعی مختلف

گیاهان زراعی	عملکرد در هکتار (کیلوگرم)	قیمت سر مزرعه هر کیلوگرم (ده هزار ریال)	درآمد کل در هکتار (ده هزار ریال)	درآمد فرعی در هکتار (ده هزار ریال)	هزینه متغیر تولید در هکتار (ده هزار ریال)	درآمد خالص در هکتار (ده هزار ریال)	کودشیمیایی در هکتار (کیلوگرم)	سموم شیمیایی در هکتار (کیلوگرم)	نیاز آبی در هکتار (متر مکعب)	نیروی کار در هکتار (نفر – روز کار)	ماشین‌ها در هکتار (ساعت)
گندم	۳۸۲۰	۰/۹۸	۳۷۴۳/۶۰	۲۵۹/۶۰	۱۶۳۶	۲۳۶۷/۲۰	۲۶۳	۱/۹۵	۵۸۷۹	۴/۴۸	۹/۱۴
ذرت دانه‌ای	۶۷۱۶	۰/۸۳	۵۵۷۴/۲۸	۱۱۴/۲۰	۲۹۰۷	۲۷۸۱/۴۸	۶۷۱	۳/۱۴	۱۵۷۷۴	۱۱/۳۱	۸/۸۷
جو	۳۷۱۸	۰/۶۴	۲۳۷۲/۰۸	۲۳۶/۵۴	۱۳۵۸	۱۲۵۰/۶۲	۲۳۴	۱/۷۶	۴۱۸۶	۴/۳۶	۹/۳۳
هندوانه	۴۰۲۸۰	۰/۲۵	۱۰۰۷۰/۰۰	۰	۳۲۹۵	۶۷۷۵/۰۰	۳۹۰	۲/۴۷	۱۵۸۴۷	۴۷/۳۲	۴/۷۴
گوجه‌فرنگی	۵۵۱۱۱	۰/۲۰	۱۱۰۷۷/۳۱	۰	۲۹۹۳	۸۰۸۴/۳۱	۳۷۳	۳/۱۴	۲۰۰۵۷	۵۱/۲۲	۴/۷۵
سبزی‌های برگی	۲۱۰۷۱	۰/۳۹	۸۲۱۷/۶۹	۰	۲۳۰۶	۵۹۱۱/۶۹	۱۶۴	۱/۴۰	۱۳۹۸۴	۳۷/۷۸	۳/۸۴
یونجه	۱۲۲۴۶	۰/۵۰	۶۱۷۱/۹۸	۰	۲۸۲۹	۳۳۴۲/۹۸	۱۵۲	۱/۲۱	۲۳۵۴۱	۱۴/۱۶	۱۵/۶۳
چغندرقند	۴۷۰۸۸	۰/۲۰	۹۲۲۹/۲۵	۱۶۲/۴۰	۲۶۵۱	۶۷۴۰/۶۵	۳۷۵	۴/۶۴	۲۲۳۵۵	۴۲/۱۲	۸/۲۹
ذرت علوفه‌ای	۴۸۸۳۶	۰/۱۰	۴۷۸۵/۹۳	۰	۲۶۹۸	۲۰۸۷/۹۳	۳۶۰	۲/۳۱	۱۴۷۳۴	۸/۶۶	۱۰/۱۱
پیاز	۵۶۰۶۳	۰/۲۱	۱۱۹۹۷/۴۸	۰	۳۸۲۷	۸۱۷۰/۴۸	۳۱۳	۲/۸۱	۲۰۲۲۶	۵۹/۳۸	۷/۶۳
نخود	۱۱۹۲	۱/۸۱	۲۱۵۸/۷۱	۱۳۹/۹۰	۱۱۶۲	۱۱۳۶/۶۱	۳۸	۰/۹۹	۷۵۹۷	۲۱/۳۱	۶/۴۱

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول(۲) الگوی کشت کنونی و بهینه از حل الگوهای مختلف برنامه‌ریاضی کسری و درصد تغییرپذیری نسبت به وضعیت موجود

گیاهان زراعی	سطح زیر کشت کنونی (هکتار)	هدف بیشینه کردن بهره وری جزیی مصرف آب		هدف بیشینه کردن بهره وری جزیی مصرف کودهای شیمیایی		هدف بیشینه کردن بهره وری جزیی مصرف سموم شیمیایی		هدف بیشینه کردن نسبت نیروی کار به مصرف آب		الگوی برنامه ریزی کسری چند هدفه قطعی		الگوی برنامه ریزی کسری چند هدفه فازی	
		سطح زیر کشت پیشنهادی (هکتار)	درصد تغییرپذیری نسبت به وضعیت موجود	سطح زیر کشت پیشنهادی (هکتار)	درصد تغییرپذیری نسبت به وضعیت موجود	سطح زیر کشت پیشنهادی (هکتار)	درصد تغییرپذیری نسبت به وضعیت موجود	سطح زیر کشت پیشنهادی (هکتار)	درصد تغییرپذیری نسبت به وضعیت موجود	سطح زیر کشت پیشنهادی (هکتار)	درصد تغییرپذیری نسبت به وضعیت موجود	سطح زیر کشت پیشنهادی (هکتار)	درصد تغییرپذیری نسبت به وضعیت موجود
گندم	۸۵۷۰	۶۸۹۷	-۲۰	۰	-۱۰۰	۴۳۳۲	-۴۹	۰	-۱۰۰	۴۳۳۲	-۴۹	۵۳	-۹۹
ذرت دانه‌ای	۳۸۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰
جو	۱۴۵۵	۲۶۵۸	۸۳	۶۹۷۹	۳۸۰	۳۷۸۳	۱۶۰	۶۸۵۴	۳۷۱	۳۷۸۳	۱۶۰	۶۸۲۳	۳۶۹
هندوانه	۲۰۵	۱۱۵۹	۴۶۵	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۱۱۷۸	۴۷۵	۰	-۱۰۰	۱۱۴۳	۴۵۸
گوجه‌فرنگی	۱۵۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰
سبزی‌های	۱۱۸	۳۳۸۴	۲۷۶۷	۴۴۹۲	۳۷۰۷	۴۴۹۲	۳۷۰۷	۳۲۳۹	۲۶۴۵	۴۴۹۲	۳۷۰۷	۳۳۸۲	۲۷۶۶
یونجه	۱۰۵	۰	-۱۰۰	۳۶۳	۲۴۵	۳۶۳	۲۴۵	۰	-۱۰۰	۳۶۳	۲۴۵	۰	-۱۰۰
چغندرقند	۷۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰
ذرت	۵۵	۴۷۵	۷۶۴	۲۵۵	۳۶۳	۲۵۵	۳۶۳	۴۷۵	۷۶۴	۲۵۵	۳۶۳	۴۷۵	۷۶۴
پیاز	۳۷	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۱۶	-۵۷
نخود	۸	۰	-۱۰۰	۲۴۸۵	۳۰۹۶۳	۱۳۴۸	۱۶۷۵۲	۲۸۲۶	۳۵۲۲۷	۱۳۴۸	۱۶۷۵۲	۲۶۸۰	۳۳۴۰۴
کل سطح زیرکشت	۱۴۵۷۳	۱۴۵۷۳	۰	۱۴۵۷۳	۰	۱۴۵۷۳	۰	۱۴۵۷۳	۰	۱۴۵۷۳	۰	۱۴۵۷۳	۰

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (۳) مقادیر معیارها و شاخص‌های الگوهای مختلف برنامه‌ریاضی کسری و درصد تغییرپذیری نسبت به وضعیت موجود

معیارها و شاخص‌ها	مقادیر معیارها و شاخص‌ها در وضعیت موجود	الگوی برنامه‌ریزی کسری تک‌هدفه								الگوی برنامه‌ریزی کسری چندهدفه قطعی		الگوی برنامه‌ریزی کسری چندهدفه فازی	
		هدف بیشینه کردن بهره‌وری جزیی مصرف آب		هدف بیشینه کردن بهره‌وری جزیی مصرف کودهای شیمیایی		هدف بیشینه کردن بهره‌وری جزیی مصرف سموم شیمیایی		هدف بیشینه کردن نسبت نیروی‌کار به مصرف آب					
		مقادیر معیارها و شاخص‌ها	درصد تغییرات نسبت به وضعیت موجود	مقادیر معیارها و شاخص‌ها	درصد تغییرات نسبت به وضعیت موجود	مقادیر معیارها و شاخص‌ها	درصد تغییرات نسبت به وضعیت موجود	مقادیر معیارها و شاخص‌ها	درصد تغییرات نسبت به وضعیت موجود	مقادیر معیارها و شاخص‌ها	درصد تغییرات نسبت به وضعیت موجود	مقادیر معیارها و شاخص‌ها	درصد تغییرات نسبت به وضعیت موجود
بازده برنامه‌ای	۳۷۲۲۴۳۸۰	۴۸۴۹۷۷۰۲	۳۰/۲۸	۳۹۸۵۱۲۸۲	۷/۰۶	۴۴۸۱۸۳۹۰	۲۰/۴۰	۳۹۹۰۷۹۲۴	۷/۲۱	۴۴۸۱۸۳۹۱	۲۰/۴۰	۴۰۵۶۷۸۹۶	۸/۹۸
مصرف آب	۱۲۹۹۸۰۰۰۰	۱۲۴۳۶۰۲۸	-۴/۳۲	۱۲۳۱۹۱۷۰	-۵/۲۲	۱۲۶۶۵۰۷۱۱	-۲/۵۶	۱۲۱۱۳۰۴۷	-۶/۸۱	۱۲۶۶۵۰۷۱۶	-۲/۵۶	۱۲۱۹۷۲۸۰	-۶/۱۶
مصرف کودهای شیمیایی	۵۳۷۷۰۶۶	۳۶۱۶۹۵۸	-۳۲/۷۳	۲۶۱۴۲۴۳	-۵۱/۳۸	۲۹۶۲۳۹۲	-۴۴/۹۱	۲۸۷۶۵۹۳	-۴۶/۵۰	۲۹۶۲۳۹۲	-۴۴/۹۱	۲۸۹۲۴۶۱	-۴۶/۲۱
مصرف سموم شیمیایی	۳۳۰۰۲	۲۶۷۹۸	-۱۸/۸۰	۲۲۰۳۹	-۳۳/۲۲	۲۳۷۳۱	-۲۸/۰۹	۲۳۳۸۴	-۲۹/۱۴	۲۳۷۳۱	-۲۸/۰۹	۲۳۴۴۷	-۲۸/۹۵
اشتغال نیروی‌کار	۱۱۶۸۳۶	۲۲۹۲۷۹	۹۶/۲۴	۲۶۰۴۳۰	۱۲۲/۹۰	۲۴۱۶۸۰	۱۰۶/۸۵	۲۷۲۳۵۵	۱۳۳/۱۱	۲۴۱۶۸۰	۱۰۶/۸۵	۲۷۴۰۴۸	۱۳۴/۵۶
بهره‌وری جزئی آب	۰/۲۹	۰/۳۹	۳۶/۱۷	۰/۳۲	۱۲/۹۶	۰/۳۵	۲۳/۵۷	۰/۳۳	۱۵/۰۴	۰/۳۵	۲۳/۵۷	۰/۳۳	۱۶/۱۴
بهره‌وری جزئی کودشیمیایی	۶/۹۲	۱۳/۴۱	۹۳/۶۸	۱۵/۲۴	۱۲۰/۲۰	۱۵/۱۳	۱۱۸/۵۴	۱۳/۸۷	۱۰۰/۴۰	۱۵/۱۳	۱۱۸/۵۴	۱۴/۰۳	۱۰۲/۶۰
بهره‌وری جزئی سموم شیمیایی	۱۱۲۷/۹۵	۱۸۰۹/۷۷	۶۰/۴۵	۱۸۰۸/۱۹	۶۰/۳۱	۱۸۸۸/۶۳	۶۷/۴۴	۱۷۰۶/۶۲	۵۱/۳۰	۱۸۸۸/۶۳	۶۷/۴۴	۱۷۳۰/۲۱	۵۳/۳۹
نسبت نیروی‌کار به مصرف آب	$۱۰^{-۴}\times$ ۸/۹۹	$۱۰^{-۳}\times$ ۸۴/۱	۱۰۵/۱۱	$۱۰^{-۳}\times$ ۱۱/۲	۱۳۵/۱۸	$۱۰^{-۳}\times$ ۹۳/۱	۱۱۲/۲۹	$۱۰^{-۳}\times$ ۲۵/۲	۱۵۰/۱۴	$۱۰^{-۳}\times$ ۹۱/۱	۱۱۲/۲۹	$۱۰^{-۳}\times$ ۲۵/۲	۱۴۹/۹۶

منبع: یافته‌های تحقیق