

ارزیابی پایداری و تعیین الگوی کشت سیستم‌های زراعی با برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه

مهدی محمودی^{۱*}، محمدجواد خانجانی^۲ و غلامعباس بارانی^۳

چکیده

این مقاله به ارزیابی پایداری در سیستم زراعی دشت بجنستان در استان خراسان رضوی و تعیین مناسب‌ترین الگوی کشت متناسب با آن می‌پردازد. برای تلفیق ابعاد سه‌گانه محیطی، اقتصادی و اجتماعی، دو معیار نسبی به عنوان شاخص‌های بررسی پایداری سیستم تعریف شدند. این دو معیار شامل حصول بیشترین عایدی اقتصادی و ایجاد بیشترین فرصت‌های اشتغال به ازای هر واحد مصرف آب، هستند. بهینه‌سازی نسبت‌های «سود خالص به مصرف آب» و «ایجاد اشتغال به مصرف آب»، با بهره‌گیری از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی یک‌هدفه و چندهدفه کسری انجام شد. با هدف حداکثرسازی سود، شاخص‌های پایداری سود به مصرف آب و اشتغال به مصرف آب در مدل کسری به ترتیب $17/3$ و $19/0$ درصد نسبت به مدل خطی افزایش داشت. با هدف حداکثرسازی اشتغال شاخص‌های پایداری بالا به ترتیب $25/2$ و $22/1$ درصد افزایش داشت. در رویکرد چندهدفه برنامه‌ریزی آرمانی، شاخص اشتغال به مصرف آب در مدل کسری، $32/4$ درصد بیشتر از مدل خطی بود، ولی نسبت اشتغال به مصرف آب $42/5$ درصد افزایش نشان داد. در ادامه با مقایسه کارایی اقتصادی و اجتماعی هر واحد مصرف آب در سناریوهای مختلف، مناسب‌ترین الگوهای کشت منطقه با توجه به منابع موجود آب و خاک و نیروی انسانی مشخص شد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، سود خالص، فرصت اشتغال، مصرف آب.

ارجاع: محمودی م. خانجانی م. ج. و بارانی غ. ع. ۱۳۹۵. ارزیابی پایداری و تعیین الگوی کشت سیستم‌های زراعی با برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه. مجله پژوهش آب ایران. ۲۱: ۶۵-۷۳.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آب‌خیزداری، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.

۲- استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۳- استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

* نویسنده مسئول: mahdimahmoodi2003@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۲

مقدمه

پایداری در مفهوم اکولوژیک، یعنی حفظ توانایی سیستم برای تولید مداوم در برابر تعرض (هولم و همکاران، ۱۹۹۵). پایداری در این دیدگاه یعنی حفظ توان هماهنگی و سازگاری کامل سیستم با محیط و تغییر و تحولات آن (زاهدی، ۱۳۸۶) و توان انعطاف‌پذیری و برگشت‌پذیری (یاوری، ۱۳۸۵). با وجود ابعاد گسترده و همه‌جانبه مفهوم پایداری، همچنان پایداری اکولوژیک مفهومی ریشه‌ای است که در ابعاد دیگر اقتصادی و اجتماعی نیز بر آن تأکید می‌شود (کورنیلسن، ۲۰۰۳). یاوری (۱۳۸۵) توسعه پایدار اقتصادی را برنامه‌ریزی صحیح منابع اقتصادی و اکولوژیک می‌داند به گونه‌ای که ارزش کل اقتصادی منابع برای همیشه حفظ و اصل سرمایه باقی بماند. با این وجود، تعریف مشخصی از پایداری نه وجود دارد که منطقی‌تر و کارآمدتر از تعاریف دیگر پایداری باشد (آدی‌اوغان و همکاران، ۱۹۹۹ و کید، ۱۹۹۲). پایداری منابع آب و خاک در کشاورزی، بیش از همه به نوع بهره‌برداری از منابع و الگوی کشت وابسته است. حداکثرسازی عواملی مانند درآمد خالص، فرصت‌های اشتغال و حداقل‌سازی هزینه‌ها نیز به عنوان جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی، در کنار محدودیت‌های زمین قابل کشت و آب مورد توجه است. یکی از علمی‌ترین سؤالاتی که در موضوع پایداری مطرح است، چگونگی ارزیابی، سنجش و تحلیل پایداری است. از جمله روش‌ها و الگوهای ارزیابی پایداری، رویکردهای برنامه‌ریزی ریاضی است. به کارگیری این مدل‌ها، برای برنامه‌ریزی‌های زراعی دارای سابقه و دامنه گسترده‌ای است. اما استفاده از نوع خاصی، یعنی برنامه‌ریزی کسری برای ارزیابی پایداری، موضوع تازه‌ای است که لارا و استانکو-میناسیان در سال ۱۹۹۹ در پژوهشی با عنوان «برنامه‌ریزی کسری ابزاری برای ارزیابی پایداری»، جنبه‌های نظری مختلف این رویکرد را بررسی کردند. این بررسی به موضوع اصلاح شیوه کاربرد منابع تولیدی آب و خاک می‌پردازد. به نحوی که همزمان رشد بالقوه و مداوم درآمد و اشتغال منطقه را تضمین کند. در این راستا مدل پژوهش در قالب برنامه‌ریزی کسری با هدف کارا کردن نسبت‌های «سود به مصرف آب» و «اشتغال به مصرف آب» به عنوان شاخص‌های پایداری در سیستم زراعی استفاده شد. از جمله سوابق مطالعاتی انجام شده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

کاسترودزا و همکاران (۲۰۰۵) ثابت کردند مدل‌های چندهدفه کسری علاوه بر هدف کاهش هزینه‌های برنامه‌های تغذیه‌ای دام می‌تواند به هدف حداکثرسازی کارایی زیست‌محیطی یک جیره نیز دست یابد. کابال‌لرو و هرناندز (۲۰۰۶) با تدوین یک مدل آرمانی در دو حالت اهداف خطی و کسری، بهبود شاخص‌های معرف بهره‌وری را در حالت کسری نسبت به حالت خطی ضمن حل یک مثال نشان داده‌اند. در پژوهشی با عنوان «کاهش غلظت فسفر در جیره‌های دام با افزودن اهداف زیست‌محیطی»، پومار و همکاران (۲۰۰۷) تحقق این امر را با تعریف اهدافی کسری در مدل جیره‌نویسی دنبال کرده‌اند. در مقاله‌ای با عنوان «مدل‌های بهینه‌سازی در محیط زیست و توسعه پایداری»، ماروس و همکاران (۲۰۰۹) به برخی از بررسی‌های انجام شده در این رابطه با استفاده از انواع مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی اشاره کرده‌اند. هو و همکاران (۲۰۱۰) در دشت شمالی چین، برای صرفه‌جویی آب کشاورزی و مدیریت پایدار آب‌های زیرزمینی پس از بررسی روش‌های مختلف یک روش مدیریت منابع آب پایدار را پیشنهاد کردند. نتایج مدل نشان داد که ۲۹/۲ درصد یا ۱۵/۷ میلی‌متر کاهش در آبیاری، افت آب‌های زیرزمینی دشت را متوقف می‌کند. صباغی و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی در ارتباط با تعیین الگوی کشت در دشت باغ ملک خوزستان به تعیین الگوی های مختلف کشت پرداختند و نتایج محصول تولیدی را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد که با استفاده از الگوی کشت و روش‌های آبیاری اصلاحی مقدار محصول تا دو برابر افزایش می‌یابد. عظیمی‌فرد و همکاران (۱۳۹۲) در مقاله‌ای با عنوان بررسی پایداری منابع آب شهرستان قوچان با برنامه‌ریزی کسری، اقدام به تعیین الگوی کشت و بررسی شاخص‌های پایداری پرداختند. نتایج نشان داد که با استفاده از برنامه‌ریزی کسری میزان آب مصرفی کمتر از برنامه ریزی خطی بوده و شاخص‌های پایداری افزایش می‌یابد ولی میزان سود کم شد. تلاش پژوهشگران بیشتر برای ارزیابی و محاسبه پایداری در قالب یک کمیت و اندازه واحد، بر اساس مؤلفه‌ها و شاخص‌های پایداری با روش‌های مختلفی مانند تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره بوده است؛ مزیت آن، امکان

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی، دشت بجستان (خراسان رضوی) با حدود ۱۰۰۰۰ هکتار اراضی زراعی است که به کشت هفت محصول عمده جو، زعفران، گندم، پسته، پنبه، انار و جالیز اختصاص دارند (شکل ۱). این ناحیه از مراکز مهم تولیدات زراعی در منطقه است و حدود ۷۰ درصد جمعیت شاغل آن در بخش کشاورزی اشتغال دارند. منابع آبی مورد استفاده در کشاورزی و دامداری در دشت بجستان در جدول ۱ آمده است. این داده‌ها بر اساس آمار شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی است. کل میزان بهره‌برداری از منابع زیرزمینی در سال ۸۵/۱۷ میلیون مترمکعب است. در دشت بجستان رودخانه دائمی و حتی فصلی قابل استفاده در کشاورزی وجود ندارد. بنابراین موضوع حقایق آب‌های سطحی منتفی است.

جدول ۱- تعداد منابع آبی و حجم تخلیه سالانه در دشت بجستان (میلیون مترمکعب)

| چشمه | | چاه | | قنات | |
|-------|------|-------|------|-------|-------|
| تعداد | حجم | تعداد | حجم | تعداد | حجم |
| ۵۹ | ۰/۱۹ | ۲۸۹ | ۶۹/۶ | ۲۹۹ | ۱۵/۳۸ |

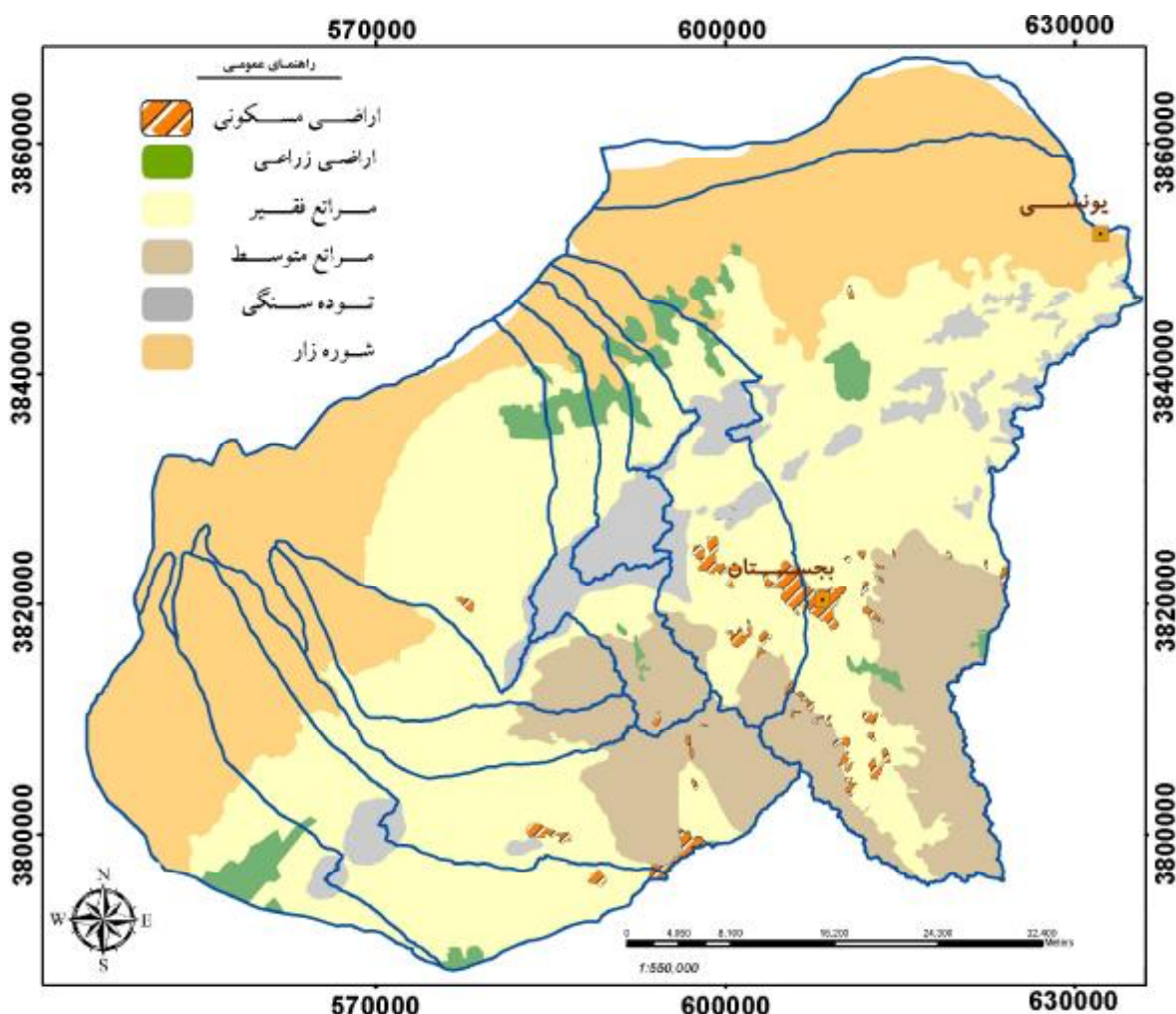
برنامه‌ریزی کسری (FP) از معروف‌ترین مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی (MP) برای اهدافی است که نسبتی از دو تابع هستند. این مدل‌ها کاربردهای زیادی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع و سیستم‌های زراعی دارند (رومرو و رحمان، ۱۹۸۹). این مدل‌ها پیچیدگی ناشی از غیرخطی بودن، ریسک و عدم حتمیت در مسائل کشاورزی و افزودن تعداد معیارهای تصمیم‌گیری را به شکل کسری (غیرخطی) و افزودن تعداد توابع هدف در مدل‌های ریاضی وارد می‌کنند (لارا و استانکو-میناسیان، ۱۹۹۹). در این مدل‌ها کارایی چندین واحد تصمیم‌گیری از طریق حداکثرسازی نسبتی از خروجی‌ها (ستاندها) به ورودی‌ها (نهادها) بررسی می‌شود.

در سیستم‌های کشاورزی، هر جا که بتوان MP را به کار برد، FP روشی طبیعی برای بررسی پایداری سیستم‌ها است (لارا و استانکو-میناسیان، ۱۹۹۹).

تحلیل و مقایسه اقدامات متفاوت در راستای پایداری است (هانسن، ۱۹۹۶). ولی این رویکرد عیب‌هایی دارد، چون علاوه بر آن رسیدن به اجماعی پیرامون جوانب و مؤلفه‌های پایداری را مشکل می‌کند، ترکیب آن‌ها (برای محاسبه یک اندازه واحد که مستلزم وزن‌دهی بر اساس اهمیت نسبی‌شان است) خود امر پیچیده‌تری است (لارا و استانکو-میناسیان، ۱۹۹۹).

در این راستا تلاش‌هایی برای تدوین چارچوب‌های دیگری برای بررسی و تبیین مسائل پایداری انجام شده است. فوینتیس (۱۹۹۳) ذکر می‌کند، در تبیین پایداری باید به مقایسه سطوح خروجی‌های مطلوب یا شاخص‌های اقتصادی با سطوح نهاده‌ها یا خروجی‌های نامطلوب پرداخت. به عبارت دیگر، در حالت پایدار واحد تغییر در منابع را به ازای یک واحد خروجی حداقل می‌کنیم (مونتیث، ۱۹۹۰). این ایده، یعنی دستیابی به حداکثر سطح خروجی مجاز با سطحی از نهاده‌ها یا به‌کارگیری حداقل سطوح نهاده‌ها برای دستیابی به سطح مطلوب ستانده، در حقیقت جستجوی استفاده به لحاظ فنی کارا از منابع به‌عنوان شرط ضروری پایداری در یک چارچوب بازدارنده است (لارا و استانکو-میناسیان، ۱۹۹۹). این ایده به مفهوم «بهینگی یا کارایی» مطرح در MCDM منجر خواهد شد. در این راستا مسئله کارایی مصرف آب کشاورزی، سطوح مناسب درآمد خالص و ایجاد فرصت‌های اشتغال به‌عنوان گسترده‌ترین مسائل پایداری مطرح می‌شوند. بنابراین می‌توان مسئله را در قالب یک MCDM با سه هدف حداکثرسازی سطوح درآمد خالص و ایجاد فرصت‌های اشتغال و حداقل‌سازی مصرف آب فرموله کرد. اما همچنین می‌توان مسئله را برای حداکثرسازی نسبت‌های درآمد به مصرف آب و ایجاد اشتغال به مصرف آب نیز فرموله کرد. به این ترتیب داشتن دو هدف به‌جای سه هدف، تعداد راه‌حل‌ها را کمتر می‌کند و سبب راحت‌تر شدن فرآیند تصمیم‌گیری می‌شود.

به این دلیل که در دشت بجستان این شیوه برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی الگوی کشت انجام نشده بود، پس با توجه به اهمیت منطقه کشاورزی بجستان و نیز تعداد زیاد افراد شاغل در این بخش ضرورت انجام پژوهشی با هدف حداکثرسازی نسبت اشتغال به مصرف آب و حداکثرسازی نسبت سود به مصرف آب ضروری بود.



شکل ۱- پراکندگی کاربری اراضی منطقه پژوهش

برنامه‌ریزی کسری

به طور کلی چنانچه d و c بردار ضریب‌های، x بردار متغیرهای تصمیم در R^n ، α و β مقادیر ثابت و b بردار مقادیر سمت راست محدودیت‌ها در R^m را می‌توان با فرض مثبت بودن مخرج کسر در S ، برای مسائل یک هدفه این گونه نوشت:

$$\text{Max } g = (c^T x + \alpha) / (d^T x + \beta) \quad (1)$$

$$\text{st } x \in S = \{x \in R^n | Ax \leq b; x \geq 0; b \in R^m\} \quad (2)$$

با اعمال تغییر متغیر $t = (1/d^T x + \beta)$ و $y = x.t$ با فرض مثبت بودن مخرج کسر، می‌توان مسئله کسری بالا را به فرم برنامه‌ریزی خطی معمولی با یک محدودیت تساوی و یک متغیر t به صورت زیر تبدیل کرد.

$$\text{Max } g = c^T y + \alpha \quad (3)$$

$$\text{st } Ay - bt \leq 0; d^T y + \beta.t = 1; y, t \geq 0 \quad (4)$$

روش بالا بر این اساسی بنا نهاده شده است که چنانچه $(y', t')^T$ یک جواب بهینه مدل تبدیل یافته خطی بالا است، آنگاه $x' = y'/t'$ جواب بهینه‌ای برای مسئله کسری اولیه خواهد بود (اسدپور، ۱۳۸۲).

برنامه‌ریزی آرمانی کسری

چنانچه چندین هدف کسری با عبارتهای خطی در صورت و مخرج داشته باشیم و برای هر کدام از آنها مقدار مطلوبی مانند u وجود داشته باشد، مدل آرمانی برای حل مسئله عبارت خواهد بود از:

$$\text{Min } \sum_m w_m . n_m \quad (5)$$

$$\text{s.t } x \in X_s \quad (6)$$

$$\frac{c_m^t x + \alpha_m}{d_m^t x + \beta_m} + n_m - p_m = u_m \quad ; \quad n_m, p_m \geq 0 \quad (7)$$

w_m وزن هدف m ام است (که حاصل ضرب اهمیت نسبی آن در مخرجی مناسب برای نرمال کردن آن است) و n_m و

از ۱۲ محدودیت ماهانه نیروی کار، به دلیل نیاز بیشتر به نیروی کار در فصل تابستان، فقط ۳ محدودیت مربوط به ۳ ماه تابستان در تدوین مدل‌ها در نظر گرفته شد و از بقیه، صرف نظر شد. بر این اساس ساختار مدل اصلی مورد استفاده در قالب یک مسئله برنامه‌ریزی چندهدفه کسری، برای کارا کردن مجموعه اهداف کسری به شکلی که در ادامه می‌آید، فرموله و بر اساس روش‌شناسی برنامه‌ریزی آرمانی کسری حل شد.

$$\text{Eff.} \left\{ \frac{\sum_i N_i X_i}{\sum_i W_i X_i}, \frac{\sum_i L_i X_i}{\sum_i W_i X_i} \right\} \quad (13)$$

$$\text{s.t.} \sum_i (x_i) \leq A \quad \forall_s \quad (14)$$

$$\sum_i \text{IWR}_{ik} \cdot x_i \leq (\eta_a \cdot \text{SW}_k + \eta_b \cdot \text{SW}_k) \quad \forall_k \quad (15)$$

$$\sum_i L_{ik} \cdot x_i \leq M d_k \quad \forall_k \quad (16)$$

$$\sum_i (x_i) \cdot S_1 - \sum_i (x_i) \cdot S_2 = 0 \quad (17)$$

$$\sum_i c_i \cdot x_i \leq Cr \quad (18)$$

$$x_i \geq 0 \quad (i=1,2,\dots,6) \quad (k=1,2,\dots,12) \quad (19)$$

در مدل بالا، S اندیس فصل زراعی (S₁ کشت بهاره و S₂ کشت پاییزه)، k اندیس ماه‌های سال، y_i عملکرد محصول (تن در هکتار)، p_i قیمت فروش محصول (میلیون ریال بر تن)، N_i سود خالص (بازده برنامه‌ای) محصول (میلیون ریال بر هکتار)، L_i مجموع نیروی کار مورد نیاز محصول (میلیون ریال در کل فصل زراعی (نفر-روز بر هکتار)، L_{ik} مجموع نیروی کار مورد نیاز محصول (میلیون ریال در ماه k (نفر-روز بر هکتار)، M d_k مجموع موجودی نیروی کار در ماه k (نفر-روز)، W_i خالص آب آبیاری مورد نیاز محصول (میلیون مترمکعب بر هکتار)، IWR_{ik} خالص آب آبیاری مورد نیاز محصول (میلیون مترمکعب بر هکتار)، SW_k مجموع آب سطحی در دسترس در ماه k (میلیون مترمکعب)، GW_k مجموع آب‌های زیرزمینی در دسترس در ماه k (میلیون مترمکعب)، η_a راندمان آبیاری آب‌های سطحی منطقه (درصد)، η_b راندمان مزرعه‌ای آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد بررسی (درصد)، c_i مجموع هزینه بر هکتار محصول (میلیون ریال بر هکتار)، C_r کل موجودی سرمایه (میلیون ریال).

p_m به ترتیب متغیرهای انحرافی مثبت و منفی هدف m در دستیابی به مقدار مطلوب u_m هستند. برای خطی کردن محدودیت‌های تساوی غیرخطی بالا، هر معادله‌ای را در مخرج d_mx + β_m به فرق مثبت بودن آن در فضای تصمیم، ضرب می‌کنیم تا در نهایت به مدل آرمانی خطی زیر برسیم (اسدیپور، ۱۳۸۲).

$$\text{Min} \sum_m w_m n'_m \quad (8)$$

$$\text{s.t.} x \in X_s \quad (9)$$

$$c_m^t x + \alpha_m - (d_m^t x + \beta_m) u_m + n'_m - p'_m = 0 \quad (10)$$

$$n'_m, p'_m \geq 0 \quad (11)$$

مدل خطی جدید معادل مدل غیرخطی بالا بوده و بین متغیرهای انحرافی آن‌ها معادله زیر برقرار است:

$$n'_m = n_m - (d_m^t x + \beta_m); \quad p'_m = p_m (d_m^t x + \beta_m) \quad (12)$$

داده‌های مورد استفاده و مدل پژوهش

پارامترهای هزینه بر هکتار، سود خالص بر هکتار محصول از معادله Ni = pi.yi - ci نیل و نیاز نیروی کار بر هکتار (Lik) محصولات، از طریق مصاحبه با کارشناسان خیره جهاد کشاورزی و مرکز خدمات کشاورزی منطقه و تکمیل پرسشنامه هزینه و درآمد محصولات زراعی (شامل جو، زعفران، گندم، پسته، پنبه، انار و جالیز) جمع‌آوری و پردازش شد. اقلام هزینه بر هکتار محصولات شامل تمامی هزینه‌های اجاره زمین (در صورت استیجاری بودن زمین)، آب‌بها، هزینه‌های آماده‌سازی بستر و کاشت، آبیاری، عملیات داشت، عملیات برداشت و حمل و نقل محصول است.

ضریب‌های فنی نیاز آبی از گزارش فرشی و همکاران (۱۳۷۶) و نرم‌افزارهای OPTIWAT و NETWAT معرفی شده از سوی علیزاده و کمالی (۱۳۸۶)، محاسبه و در نظر گرفته شد. ارزش اقتصادی آب کشاورزی نیز از مقاله کرامت‌زاده و همکاران (۱۳۸۵) به دست آمد. منابع آب در ماه‌های مختلف از جمع منابع آب زیرزمینی و بر اساس آمارهای موجود در بانک آب منطقه‌ای برآورد شد. نیروی کار در ماه‌های مختلف بر اساس جمعیت بیکار و شاغل بخش کشاورزی و با توجه به آمارهای سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ برآورد شد. جدول ۲ ساختار محدودیت‌های مدل، مقادیر سمت راست و ضریب‌های فنی فعالیت‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ماتریس ضریب‌های فنی متغیرها و مقادیر سمت راست محدودیت‌های مدل

| مقادیر سمت راست | محصولات زراعی عمده در منطقه | | | | | | اهداف، محدودیت‌ها و معیارها | |
|-----------------|-----------------------------|------|------|------|------|--------|-----------------------------|--------------------------------|
| | جالیز | انار | پنبه | پسته | گندم | زعفران | جو | |
| Max | ۳۱/۸ | ۳۶۰ | ۶/۷ | ۳۶۰ | ۹/۱ | ۳۱/۳ | ۸/۷ | سود خالص (میلیون ریال) |
| Max | ۱۴ | ۳۶ | ۲۸ | ۳۶ | ۲۲ | ۳۰ | ۲۰ | اشتغال (نفر-روز) |
| Min | ۱۹/۱ | ۲۹/۳ | ۱۶/۹ | ۶/۴ | ۱۰/۷ | ۹/۹ | ۸/۳ | جمع کل |
| ۷۶۴۸۲ | ≥ ۱/۶ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۱/۸ | ۱/۷ | ۱/۶ | فروردین |
| ۷۶۴۸۲ | ≥ ۴/۵ | ۲/۲ | ۱/۵ | ۰/۶ | ۳/۴ | ۳/۵ | ۳/۱ | اردیبهشت |
| ۷۶۴۸۲ | ≥ ۶/۱ | ۵/۳ | ۳/۵ | ۱/۱ | ۳/۴ | ۰/۰ | ۱/۷ | خرداد |
| ۷۶۴۸۲ | ≥ ۵/۳ | ۷/۵ | ۴/۶ | ۱/۵ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | تیر |
| ۷۶۴۸۲ | ≥ ۱/۶ | ۶/۲ | ۳/۸ | ۱/۴ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | مرداد |
| ۷۶۴۸۲ | ≥ ۰/۰ | ۵/۱ | ۲/۸ | ۱/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | شهریور |
| ۷۶۴۸۲ | ≥ ۰/۰ | ۳/۰ | ۰/۷ | ۰/۵ | ۰/۰ | ۱/۴ | ۰/۰ | مهر |
| ۷۶۴۸۲ | ≥ ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۲ | ۰/۷ | ۱/۰ | ۰/۷ | آبان |
| ۷۶۴۸۲ | ≥ ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۴ | ۰/۷ | ۰/۴ | آذر |
| ۷۶۴۸۲ | ≥ ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۲ | ۰/۶ | ۰/۲ | دی |
| ۷۶۴۸۲ | ≥ ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | بهمن |
| ۷۶۴۸۲ | ≥ ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۰/۵ | اسفند |
| ۱۶۰۰۰ | ≥ ۱۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | تیر |
| ۱۶۰۰۰ | ≥ ۱۳ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | مرداد |
| ۱۶۰۰۰ | ≥ ۱۵ | ۱۲ | ۲۳ | ۲۹ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | شهریور |
| ۱۰۰۰۰ | ≥ ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | مساحت زمین (هکتار) |
| ۰ | ≤ ۱- | ۱- | ۱- | ۱- | ۱+ | ۱+ | ۱+ | فصلی بودن فعالیت (تناوب زراعی) |
| ۱۶۰۰۰۰ | ≥ ۱۶/۰ | ۱۲/۴ | ۱۴/۵ | ۱۲/۴ | ۸/۱ | ۵/۷ | ۷/۰ | سرمایه (میلیون ریال) |

نتایج و بحث

مدل برنامه‌ریزی کسری یک‌هدفه، برای هر کدام از این دو هدف کسری نیز دو الگوی کشت دیگر (سناریو A_2 و B_2) با مقادیر تابع هدف $۰/۰۴۵$ و $۱/۶۶۷$ به دست آمد. از نظر فیزیکی، این مقادیر در حقیقت بیانگر میزان سود (میلیون ریال) و اشتغال (نفر-روز) حاصل به ازای هر واحد آب مصرفی (m^3) هستند. دوباره با در نظر گرفتن این دو مقدار به عنوان مقادیر آرمانی و تدوین یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی کسری برای حداکثرسازی همزمان دو هدف کسری (دو شاخص پایداری) و حل آن الگوی کشت دیگری (C_2) حاصل شد. سه الگوی اخیر نیز با توجه به توابع هدفشان همگی الگوهای کسری هستند.

جدول ۳ سطح زیرکشت محصولات در الگوهای یاد شده، و جدول ۴ مقادیر سود خالص، ایجاد اشتغال و مصرف آب و بر اساس آن‌ها دو شاخص‌های پایداری هر الگو را نشان می‌دهد. همان گونه که اشاره شد، سه الگوی A_1 ، B_1 و C_1 مربوط به مدل‌های خطی و سه الگوی A_2 ، B_2 و C_2 مربوط به جواب‌های مدل‌های کسری هستند. اساس چنین

با توجه به داده‌های سه سطر اول (ضریب‌های فنی سود)، دوم (ضریب‌های فنی اشتغال) و سوم (ضریب‌های فنی مصرف آب طی دوره کشت) جدول ۲، سه تابع سود خالص، ایجاد اشتغال و مصرف آب به دست آمد. از حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی یک‌هدفه‌ای برای حداکثرسازی هر کدام از دو تابع سود و اشتغال، دو الگوی کشت (سناریوهای A_1 و B_1) با مقادیر تابع هدف ۳۰۳۹۱۴۱ میلیون ریال و ۲۰۰۰۸۶۷ نفر-روز حاصل شد. با در نظر گرفتن این دو مقدار به عنوان مقادیر آرمانی و تدوین یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای حداکثرسازی همزمان این دو هدف و حل آن الگوی کشت دیگری (سناریوی C_1) به دست آمد. با توجه به توابع هدف مربوطه، این سناریو الگوهای خطی هستند. در ادامه، با تقسیم هر کدام از دو تابع سود و اشتغال بر تابع مصرف آب، دو تابع هدف جدید به شکل کسری حاصل شد که در حقیقت بیانگر دو شاخص پایداری مورد بحث، هستند. از حل جداگانه دو

به طور کلی برتری مدل‌های کسری نسبت به مدل‌های خطی برای شاخص سود به مصرف آب بسیار بیشتر و بارزتر از شاخص اشتغال به مصرف آب است. در مدل چندهدفه کسری، بهبودی در وضعیت این شاخص در مقایسه با مدل آرمانی خطی ایجاد نمی‌شود. دلیل این امر ویژگی دوگانگی ایجاد و حداکثرسازی اشتغال در بخش کشاورزی است. به علاوه بیشتر شدن اشتغال برای محصولاتی مانند پسته و انار که نیاز بیشتری به نیروی کار دارند، با افزایش هزینه‌های مربوطه نیز همراه است. بر اساس جدول ۲، بیشترین ایجاد اشتغال (یا نیاز به نیروی کار) و همچنین بیشترین میزان هزینه در هکتار مربوط به همین محصولات است که همگی نیز در الگوهای کشت حاصل از الگوهای پایداری (مدل‌های کسری) حذف شده‌اند. به هر حال بیشتر شدن ضریب‌های فنی اشتغال با افزایش همزمان ضریب‌های فنی مصرف آب و هزینه‌های تولید در محصولات مربوطه همراه است. حداکثرسازی اشتغال، به طور ناخواسته‌ای افزایش نامطلوب این پارامترها را نیز در بر خواهد داشت.

با توجه به جدول ۳ و ۴ و در نظر گرفتن همزمان اهداف اقتصادی و اجتماعی پایداری، از نظر کارایی هر سه نقطه A_1 ، B_1 و C_1 (مدل برنامه‌ریزی خطی) به دلیل آنکه از نظر شاخص نسبت سود به مصرف آب به ترتیب $17/8$ ، $26/7$ و $33/3$ درصد کمتر از سه نقطه A_2 ، B_2 و C_2 (مدل برنامه‌ریزی کسری چندهدفه) هستند، از نظر فنی ناکارا تلقی می‌شوند. همچنین سه نقطه A_1 ، B_1 و C_1 به دلیل آن که از نظر شاخص نسبت اشتغال به مصرف آب به ترتیب $18/9$ ، $11/9$ و $42/5$ درصد کمتر از سه نقطه A_2 ، B_2 و C_2 هستند، به لحاظ فنی ناکارا هستند. این امر در مورد نقطه مربوط به الگوی کشت فعلی نیز صادق است. بنابراین الگوهای به دست آمده از مدل‌های کسری از نظر هر دو شاخص پایداری بر الگوهای خطی و فعلی برتر بوده و کارا هستند. این نتایج با پژوهش‌های عظیمی فرد و همکاران (۱۳۹۲)، لارا و استانکو-میناسیان (۱۹۹۹)؛ کاسترودزا و همکاران (۲۰۰۵)؛ ماروس و همکاران (۲۰۰۹)، هو و همکاران (۲۰۱۰) و صباغی (۲۰۱۴) هماهنگی داشته و نتایج آن‌ها را تأیید می‌کند. از طرفی مدل کسری آرمانی نیز بر مدل کسری یک‌هدفه سود، به دلیل برتری هر دو شاخص برتر است که با نتایج پژوهش کابال‌لرو و هرناندز (۲۰۰۶) هماهنگی دارد. توجه شود جوابی مانند C_1 که در

مقایسه‌ای ساختار به طور کامل مشابه محدودیت‌ها در تمامی ۶ مدل خطی و کسری در دو حالت یک‌هدفه و چندهدفه است تا بتوان این الگوها (و در حقیقت توابع هدف آن‌ها) را در برآورده ساختن شاخص‌های پایداری ارزیابی مقایسه‌ای کرد.

جدول ۳- سطح زیرکشت در الگوها و سناریوهای مختلف

| سناریو | سطح هر محصول (هکتار) | | | | | |
|--------|----------------------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | جو | زعفران | گندم | پسته | پنبه | انار |
| فعلی | ۲۲۵۰ | ۱۶۳۰ | ۱۵۰۰ | ۱۴۰۰ | ۱۲۰۰ | ۱۳۵۰ |
| A1 | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۸۱۰۶/۳ | ۰/۰ | ۱۱۳۲/۰ |
| B1 | ۰/۰ | ۱۶۳۰/۵ | ۰/۰ | ۸۳۶۹/۵ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| C1 | ۱۸۰/۴ | ۴۳۲/۷ | ۱۷۱/۶ | ۳۹۸۰/۰ | ۰/۰ | ۱۵۹۳/۹ |
| A2 | ۱۵۶/۹ | ۳۷۶/۳ | ۱۴۹/۲ | ۳۴۶۰/۹ | ۰/۰ | ۱۳۸۶/۰ |
| B2 | ۱۱/۴ | ۱۵۰/۰ | ۱۰/۸ | ۸۲۰۲/۳ | ۳/۱ | ۲۰۴/۸ |
| C2 | ۱۱۱/۴ | ۱۶۰۸ | ۱۱۰/۸ | ۷۲۰۲/۳ | ۱۰۳/۱ | ۴۰۴/۸ |

جدول ۴- مقایسه شاخص‌های پایداری الگوهای حاصل از مدل‌های یک‌هدفه و چندهدفه خطی و کسری

| الگوی کشت (سناریو) | سود خالص (میلیارد ریال) | تولید (تیر روز) | ایجاد اشتغال (هزار مترمکعب) | مصرف آب (میلیون مترمکعب) | نسبت سود | نسبت اشتغال |
|--------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|----------|-------------|
| | | | | | | |
| فعلی | ۹۲۷/۱ | ۱۵۶۴۰۸۰ | ۱۳۲۳۰۱ | ۰/۰۰۷ | ۰/۵۹۳ | ۰/۵۹۳ |
| A1 | ۳۱۳۹/۱ | ۱۹۷۱۰۲۷ | ۸۵۰۰۰ | ۰/۰۳۷ | ۱/۵۹۳ | ۱/۵۹۳ |
| B1 | ۲۷۹۶/۷ | ۲۲۰۰۸۶۷ | ۸۳۵۹۰ | ۰/۰۳۳ | ۱/۲۷۱ | ۱/۲۷۱ |
| C1 | ۳۰۸۹/۳ | ۲۸۵۲۳۴۳ | ۸۴۷۱۵ | ۰/۰۳۶ | ۱/۰۸۳ | ۱/۰۸۳ |
| A2 | ۳۵۶۳/۸ | ۱۸۱۳۳۳۳ | ۷۹۸۰۰ | ۰/۰۴۵ | ۱/۹۶۵ | ۱/۹۶۵ |
| B2 | ۳۱۲۲/۲ | ۱۹۱۳۳۳۳ | ۶۹۸۰۰ | ۰/۰۴۵ | ۱/۶۳۲ | ۱/۶۳۲ |
| C2 | ۳۴۸۹/۳ | ۱۸۵۲۳۴۳ | ۶۴۷۱۵ | ۰/۰۵۴ | ۱/۸۸۴ | ۱/۸۸۴ |

اگر هدف فقط حداکثرسازی سود باشد، شاخص‌های پایداری سود به مصرف آب و اشتغال به مصرف آب در مدل کسری به ترتیب $17/3$ و $19/0$ درصد نسبت به مدل خطی افزایش دارند. اگر فقط هدف حداکثرسازی اشتغال باشد، شاخص‌های پایداری بالا به ترتیب $25/2$ و $22/1$ درصد افزایش دارند. در رویکرد چندهدفه برنامه‌ریزی آرمانی نیز شاخص نسبت اشتغال به مصرف آب در مدل کسری $32/4$ درصدی در مقایسه با مدل خطی افزایش داشت، ولی نسبت اشتغال به مصرف آب $42/5$ درصد افزایش نشان می‌دهد.

- دکتری اقتصاد کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۵۰ ص.
۲. زاهدی ش. ۱۳۸۶. توسعه پایدار. انتشارات سمت. تهران. ۲۳۲ ص.
۳. فرشی ع. شریعتی م. جاراللهی م. قائمی شهبابی فر م. و تولایی م. م. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. جلد اول (گیاهان زراعی). نشر آموزش کشاورزی. مؤسسه تحقیقات آب و خاک وزارت کشاورزی. کرج. ۹۱۸ ص.
۴. عظیمی فرد س. زارع مهرجردی م. ر. و مهرابی بشرآبادی ح. ۱۳۹۲. بررسی پایداری منابع آب در شهرستان قوچان: رویکرد برنامه ریزی کسری. نشریه دانش کشاورزی و تولید. ۲۳(۳): ۱-۱۱.
۵. علیزاده الف. و کمالی غ. ۱۳۸۶. نیاز آبی گیاهان در ایران. دانشگاه امام رضا (ع). مشهد. ۲۲۸ ص.
۶. کرامت‌زاده ع. چیذری الف. ح. و میرزایی الف. ۱۳۸۵. تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی با استفاده از مدل الگوی کشت بهینه تلفیق زراعت و باغداری (مطالعه موردی: سد بارزو شیروان). فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۱۴(۵۴): ۳۵-۶۰.
۷. یآوری ا. ر. ۱۳۸۵. توسعه پایدار اقتصادی و ساز و کارها. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۷۶ ص.
8. Adeogun T. A. Nielsen A. B. and Truelsen O. M. 1999. Putting sustainable development into practice: Tanzania as a case study. The Royal Veterinary and Agricultural University. Denmark. 93 p.
9. Caballero R. and Hernández M. 2006. Restoration of efficiency in a goal programming problem with linear fractional criteria. European Journal of Operational Research. 172(1): 31-39.
10. Castrodeza. C. Lara P. and T. Peña. 2005. Multicriteria fractional model for feed formulation: economic, nutritional and environmental criteria. Agricultural Systems. 86(1): 76-96.
11. Cornelissen A. M. G. 2003. The Two Faces of Sustainability; Fuzzy Evaluation of Sustainable Development. Ph.D. Thesis. Wageningen University. Netherlands. 183 p.
12. Fuentes R. E. 1993. Scientific research and sustainable development. Ecological Applications. 3(4): 576-577.
13. Hansen J. W. 1996. Is agricultural sustainability a useful concept? Agricultural Systems. 50(2): 117-143.
14. Hu Y. Paul Moiwo J. Yang Y. Han Sh. and Yang Y. 2010. Agricultural water-saving and

چارچوب برنامه‌ریزی چندهدفه نتایج مطلوبی هستند، از نظر پایداری سیستم مورد تردیدند که نتایج فوینتیس (۱۹۹۳) مبنی بر توجه و مقایسه سطوح خروجی مطلوب (شاخص‌های اقتصادی) با سطوح نهاده‌ها را تأیید می‌کند. این بدان دلیل است که جواب‌هایی با نسبت‌های بالاتری از درآمد یا ایجاد اشتغال به ازای واحد مصرف آب، فقط با رویکردهایی مانند برنامه‌ریزی کسری حاصل می‌شود.

نتیجه‌گیری

پایداری سیستم‌های تولید زراعی امر پیچیده‌ای است که تحت تأثیر جوانب متفاوتی است. بیشتر شاخص‌های موجود برای پایداری دارای ماهیتی محیطی و اکولوژیکی بوده (اسمیت و دامانسکی، ۱۹۹۳) یا در سطوح کلان ملی و برای سیاست‌گذاری‌های کلان توسعه یافته‌اند (پانل و گلن، ۲۰۰۰). چنین شاخص‌هایی به طور مستقیم با مسائل تصمیم‌گیری و مدیریت مزرعه‌ای ارتباطی ندارند. رهیافت برنامه‌ریزی کسری در این مقاله، روش مناسبی برای بررسی پایداری در چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) است. زمانی که مدیریت کمی ورودی و خروجی سیستم زراعی مدنظر باشد، نسبت‌ها (تعریف هدف‌ها به صورت کسری) راه‌حلی مناسب برای بررسی و بحث پیرامون پایداری بوده و مقایسه و ارزیابی راه‌حل‌های مختلف برای این‌گونه مسائل را آسان‌تر می‌کند. تعریف و بهینه‌کردن نسبت‌هایی مانند آنچه در بخش‌های قبل اشاره شد، امکان بهبود جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی یک سیستم زراعی را با کاهش مصرف منابع محیطی فراهم می‌آورد. بنابراین، از این راه می‌توان اثرات مخاطره‌آمیز محیطی فعالیت‌های زراعی را با استفاده کارا و کارآمد منابع کاهش داد. رویکرد این بررسی بر مبنای بهینه‌سازی الگوی کشت، تلاشی برای یافتن راه‌حلی برای بهبود پایداری سیستم زراعی در سطح مزرعه و حتی منطقه‌ای است. به این ترتیب ماندگاری و تداوم توسعه سیستم با تعیین و تشخیص نماگرها و موانع توسعه پایدار کشاورزی تا اندازه‌ای تضمین خواهد شد.

منابع

۱. اسدپور ح. ۱۳۸۲. کاربرد مدل برنامه‌ریزی خطی آرمانی قطعی و فازی در مطالعه اقتصادی سیاست‌های کشاورزی بخش زراعت شرق مازندران. پایان‌نامه

- sustainable groundwater management in Shijiazhuang Irrigation District, North China Plain. *Journal of Hydrology*. 393:219-232.
15. Hulme M. Conway D. Kelly P. M. Subak S. and Downing T. E. 1995. The impacts of climate change on Africa. CSERGE Working Paper. University of East Anglia. UK. 60 p.
16. Kidd C. V. 1992. Evaluation of sustainability. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 5(1): 1-26.
17. Lara P. and Stancu-Minasian I. 1999. Fractional programming: A tool for the assessment of sustainability. *Agricultural Systems*. 62(2): 131-141.
18. Maros I. Arabatzis G. and Sifaleras A. 2009. Special issue on "Optimization models in environment and sustainable development". *Operational Research. An International Journal*. 9(3): 225-227.
19. Monteith J. L. 1990. Can sustainability be quantified? *Indian Journal of Dryland Agriculture Research and Development*. 5(1-2): 1-15.
20. Pannell D. J. and Glenn N. A. 2000. A framework for the economic evaluation and selection of sustainability indicators in agriculture. *Ecological Economics*. 33(1): 135-149.
21. Pomar C. Dubeau F. Létourneau-Montminy M.-P. Boucher C. and Julien P.-O. 2007. Reducing phosphorus concentration in pig diets by adding an environmental objective to the traditional feed formulation algorithm. *Livestock Science*. 111(1): 16-27.
22. Romero C. and Rehman T. 1989. Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions. *Developments in Agricultural Economics*. 5 Elsevier. Amsterdam. 257 p.
23. Sabaghi M. A. Salmanzadeh S. and Azizan A. 2014. Determination of Optimum Cropping Pattern Based on the Sustainability of Groundwater Resources (Baagh-Malek Plain). *Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*. 4(S3): 1772-1776.
24. Smyth S. and Dumanski J. 1993. FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management. *World Soil Resources Report*. Report 73, FAO (Land and Water Development Division. 85 p.

