ارزیابی پایداری و تعیین الگوی کشت سیستم‌های زراعی بر اساس بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع آب و خاک با استفاده از الگوهای غیرخطی برنامه‌ریزی ریاضی

عباس امینی فسخودی* و سید هدایت ا... نوری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۶/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۲۶)

چکیده

مطالعه پایداری سیستم‌های زراعی مستلزم ارزیابی جامع و یکپارچه‌ای از دینامیسم حاکم و ارتباط تنگاتنگ ابعاد محیطی، اقتصادی و اجتماعی آنهاست. بهینه‌سازی تخصیص و افزایش بهره‌وری مصرف آب در یک سیستم زراعی، علاوه بر بهبود وضعیت پایداری و حفاظت از منابع آب و خاک، کاهش خسارت‌های اقتصادی و اجتماعی را نیز در پی خواهد داشت. شمار زیادی از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای تحلیل و ارزیابی جوانب مختلف برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های زراعی در دهه‌های اخیر توسعه پیدا کرده‌اند. مقاله حاضر به ارزیابی سیستمی پایداری در سیستم زراعی منطقه روستایی براآن جنوبی در شرق شهر اصفهان و تعیین مناسب‌ترین الگوی کشت متناسب با آن می‌پردازد. به منظور تلفیق ابعاد سه‌گانه محیطی، اقتصادی و اجتماعی، دو معیار نسبی حصول بیشترین عایدی اقتصادی و ایجاد بیشترین فرصت‌های اشتغال به‌ازای هر واحد مصرف آب کشاورزی، به عنوان شاخص‌هایی برای پایداری سیستم تعریف شده‌اند. بهینه‌سازی نسبت‌های «سود خالص به مصرف آب» و «ایجاد اشتغال به مصرف آب»، با بهره‌گیری از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی یک‌هدفه و چندهدفه کسری صورت گرفته است. در ادامه با محاسبه و مقایسه کارایی اقتصادی و اجتماعی هر واحد مصرف آب کشاورزی در سناریوهای مختلف مدل‌های یک‌هدفه و چندهدفه برنامه‌ریزی خطی و کسری، مناسب‌ترین الگوهای کشت منطقه با توجه به منابع موجود آب و خاک و نیروی انسانی تعیین و معرفی شده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی پایداری، سیستم‌های زراعی، الگوی بهینه کشت، برنامه‌ریزی کسری، برنامه‌ریزی چندهدفه

۱. به ترتیب استادیار و دانشیار برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: amini@1tr.ui.ac.ir

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.8.6]

مقدمه

منابع محیطی سرمایه‌های اصلی بخش کشاورزی هر اقتصادی را تشکیل می‌دهد و به همین جهت پایداری این منابع از اهمیت اساسی برخوردار است. پایداری مفهوم خیلی جدیدی نیست و طبعاً بشر همواره مایل به حفظ و ماندگاری منابع حیات خود بوده است، ولی حداقل از حدود دو قرن پیش که موضوع حفظ و نگهداری و ادامه تولید جنگل‌ها مطرح شد، مفهوم پایداری مورد توجه جامعه علمی قرار گرفت (۲۰). پایداری تا مدت‌ها تنها در مفهوم پایداری اکولوژیک و یا پایداری منابع طبیعی قابل تجدید به‌کار می‌رفت. اما از زمانی که «توسعه پایدار» توسط کمیسیون برانتلند در سال ۱۹۸۷ تعریف شد و دستورالعمل ۲۱ در کنفرانس جهانی محیط و توسعه در ریو در سال ۱۹۹۲ تهیه شد، پایداری مفهومی بسیار گسترده یافت و در سه بعد اکولوژیک، اقتصادی و اجتماعی مطرح گردید. پایداری در مفهوم اکولوژیک همان‌طور که کانوی و همکاران (۱۱) به آن اشاره دارند، یعنی حفظ توانایی سیستم برای تولید مداوم در برابر تعرض. پایداری در این دیدگاه به معنی حفظ توان انطباق و سازگاری کامل سیستم با محیط و تغییر و تحولات آن (۳) و توان انعطاف‌پذیری و برگشت‌پذیری (۲) است. نمی‌توان انکار کرد که با وجود ابعاد گسترده و همه‌جانبه مفهوم پایداری، همچنان پایداری اکولوژیک مفهومی است ریشه‌ای که در ابعاد دیگر اقتصادی و اجتماعی نیز بر آن تأکید می‌شود (۱۲). پایداری در بعد اقتصادی به‌عنوان مفهومی کلیدی در ادبیات توسعه پایدار مطرح است و گذشته از این‌که ویژگی‌های پایداری اکولوژیک را حفظ خواهد کرد، بر جنبه‌های اقتصادی سیستم نیز تأکید می‌کند. رائو (۲) در توضیح مفهوم پایداری اشاره به تعریفی از توسعه پایدار اقتصادی دارد که آن را برنامه‌ریزی صحیح منابع اقتصادی و اکولوژیک به‌گونه‌ای می‌داند که ارزش کل اقتصادی منابع برای همیشه حفظ و اصل سرمایه همیشه باقی بماند. با این وجود، باید اذعان نمود که تعریف معینی از پایداری نه وجود دارد و نه لزوماً می‌تواند وجود داشته باشد که منطقی‌تر و کارآمدتر از تعاریف دیگر پایداری باشد (۷ و ۱۸). در یک جمع‌بندی کلی از مفهوم پایداری منابع به‌ویژه پایداری به‌عنوان مفهوم بنیادی توسعه پایدار، پایداری سه جنبه یا سه وجه اساسی دارد که عبارت از حفاظت، کارآمدی و تعادل و پایداری یعنی رعایت همواره و هم‌زمان این سه وجه است (۱۳). حفاظت شرط اولیه پایداری و نقطه آغازین و اساسی در پایداری است و خود دارای دو سویه اساسی شامل نگهداری منابع و جلوگیری از تخریب محیط و هم‌زمان احیا و باروری منابع و ایجاد شرایط مناسب برای باروری و رشد قدرت تولید طبیعت است. منظور از کارآمدی نیز به‌طور ساده همان بهره‌برداری منطقی از منابع است. منابع در اختیار انسان محدود است و انسان برای مصرف منابع موجود باید عاقلانه و با برنامه عمل کند. مفهوم کارآمدی منابع در واقع پاسخ و تدبیر انسان برای استفاده صحیح از منابع در برابر این محدودیت است. ولی وجه سوم پایداری حفظ تعادل و موازنه در منابع موجودِ در اختیار انسان است. تعادل در واقع حفظ موازنه موجود در طبیعت و عدم ایجاد نقصان در طبیعت نه‌تنها برای نسل حاضر بلکه برای نسل‌های آینده است که می‌توانند از مواهب موجود بهره جویند. بنابر آنچه به‌طور فشرده بیان شد، برای منابع محیطی یک ظرفیت محدود وجود دارد و هر محیطی طبعاً ظرفیت خاص خود را دارد. ظرفیت در واقع توانایی محیط و یا پدیده محیطی برای تحمل تغییر و حفظ گونه در برابر فشار و بهره‌برداری جدید است (۲۶). این همان چیزی است که در سطور قبل به‌عنوان بازگشت‌پذیری و یا توان انعطاف‌پذیری از آن یاد کردیم. شرط اساسی استفاده پایدار از طبیعت، رعایت ظرفیت منابع محیطی است. تحلیل و یا سنجش پایداری نیز در واقع تعیین این ظرفیت است. تحلیل پایداری مبنا و معیار عقلایی برای تعیین استانداردهای محیطی است که میزان بهره‌برداری از منابع را تعیین و کنترل می‌کند. تحلیل پایداری به نوعی تعیین‌کننده و بیان‌کننده میزان و معیار فاصله بین وضعیت پایدار و اولیه و وضعیت جدید یک پدیده محیطی است (۱۰). در تحلیل پایداری هم‌زمان ظرفیت منابع و ماندگاری اقتصادی در ارتباط با نیاز توسعه مورد نظر بررسی، تحلیل و کنترل می‌شود (۲۶).

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.8.6]

منابع محیطی به‌ویژه آب و خاک به‌عنوان منابع اصلی تولید، از اساسی‌ترین موضوعات در حیطه اقتصاد کشاورزی است. پایداری منابع یکی از چالش‌های اساسی است که تمامی جهان و از جمله کشور ما ایران به‌شدت با آن روبه‌روست. در کشاورزی پایداری این منابع بیش و پیش از هر چیز به نوع بهره‌برداری از منابع و شیوه و الگوی کشت وابسته است. موضوع آب در مطالعات کشاورزی ایران از موضوعات اساسی و کلیدی به‌خصوص در مناطق مرکزی و از جمله در منطقه اصفهان است. آب کشاورزی مبحثی گسترده و دارای ابعاد گوناگونی است ولی از این میان بحث تخصیص بهینه منابع آب به‌ویژه در مطالعاتی در ابعاد ناحیه‌ای و کوچک، نقش تعیین‌کننده‌تری نسبت به سایر شاخص‌های کشاورزی دارد. معیارهای اساسی در ارزیابی پایداری منابع آب زراعی عبارت از: فرایند گردش آب، موجودی آب قابل دسترس، کیفیت آب و بهره‌وری آب است. در این مطالعه از میان معیارهای فوق تنها بر معیار مقدار یا موجودی آب تمرکز شده است. کم‌آبی در بخش گسترده‌ای از کشور مهم‌ترین مسئله کشاورزی است. علاوه بر آب، عوامل مهم دیگری مانند حداکثرسازی درآمد خالص و عایدی اقتصادی، ایجاد حداکثر فرصت‌های اشتغال و حداقل‌سازی هزینه‌ها نیز به‌عنوان جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی پایداری یک سیستم زراعی، در کنار محدودیت‌های زمین قابل کشت و موجودی آب مورد توجه قرار گرفته است.

یکی از بزرگ‌ترین و علمی‌ترین سؤالاتی که همواره در موضوع منابع محیطی و به‌طور خاص موضوع پایداری مطرح است، چگونگی ارزیابی، سنجش و تحلیل پایداری است. در این زمینه به‌ویژه از زمان مطرح شدن انگاره توسعه پایدار، تلاش‌های بسیاری شده و روش‌های متنوعی نیز ارائه شده است و این مطالعه نیز کوششی در این زمینه است. از جمله روش‌ها و الگوهای ارائه شده برای ارزیابی پایداری، رویکردهای برنامه‌ریزی ریاضی است. منطقه مورد مطالعه این تحقیق ناحیه کاملاً روستایی براآن جنوبی در شرق شهر اصفهان با دارا بودن حدود ۱۲۰۰۰ هکتار اراضی زراعی است که عمدتاً به کشت شش محصول عمده گندم، جو، برنج، ذرت علوفه‌ای، یونجه و پیاز اختصاص دارند. این ناحیه از جمله مراکز مهم تولیدات زراعی در منطقه اصفهان می‌باشد و نزدیک به ۷۰ درصد جمعیت شاغل آن در بخش کشاورزی اشتغال دارند. علاوه بر وجود تعداد بسیار زیادی چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، بخش قابل توجهی از آب مورد نیاز این ناحیه، به دلیل واقع شدن در مجاورت رودخانه زاینده‌رود، از این طریق تأمین می‌شود. وقوع دوره‌های متوالی خشک‌سالی در سال‌های گذشته و نیز تغییرات عمده‌ای که در این سال‌ها از سوی مدیریت‌های کلان در تخصیص منابع آب این رودخانه برای کاربری‌های غیرکشاورزی صورت گرفته، از سویی پایداری منابع آب و از سوی دیگر معیشت ساکنان منطقه را با چالش‌های جدی مواجه ساخته است. از این‌رو مطالعه حاضر به موضوع اصلاح شیوه کاربری منابع تولیدی آب و خاک، به‌نحوی که هم‌زمان رشد بالقوه و مداوم درآمد و اشتغال منطقه را نیز به‌عنوان اصلی‌ترین جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی پایداری یک سیستم تضمین نماید، می‌پردازد. بنابراین علاوه بر تأکید بر حفاظت و پایداری منابع آب منطقه از طریق حداقل کردن مصرف آن، ابعاد اقتصادی و اجتماعی پایداری نیز در قالب حداکثرسازی عایدی اقتصادی و ایجاد فرصت‌های اشتغال مدنظر بوده‌اند. برای این منظور مدل تحقیق در قالب برنامه‌ریزی کسری (Fractional programming)، با هدف کارا نمودن نسبت‌های «سود به مصرف آب» و «اشتغال به مصرف آب» به‌عنوان شاخص‌های پایداری در یک سیستم زراعی در قالب اهداف هم‌زمان تحقیق، تدوین و با اجرای سناریوهای مختلف در قالب الگوهای مختلف کشت، مناسب‌ترین الگوی کشت در راستای اهداف مطالعه معرفی شده است. به‌این‌ترتیب هدف اصلی و عمده مطالعه تشریح رویکرد برنامه‌ریزی‌های ریاضی غیرخطی به‌عنوان روشی برای ارزیابی و سنجش پایداری در سیستم‌های زراعی و به طور خاص ناحیه زراعی براآن جنوبی به‌عنوان نمونه موردی، در ارتباط و هم‌آهنگ با دیگر عوامل تولید است. در ادامه این بخش و پیش از پرداختن به معرفی رویکرد

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.8.6]

مدل‌های برنامه‌ریزی کسری در حالت‌های یک‌هدفه و چندهدفه و مبانی نظری تناسب این روش برای ارزیابی پایداری یک سیستم در بخش مواد و روش‌ها، چند مورد از کاربردهای آن در ادبیات موضوع را ذکر می‌کنیم.

گرچه به‌کارگیری مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای برنامه‌ریزی‌های زراعی دارای سابقه و دامنه بسیار گسترده‌ای است اما استفاده از نوع خاصی از این مدل‌ها یعنی برنامه‌ریزی کسری برای منظور خاصی مانند ارزیابی پایداری، موضوعی تقریباً تازه است. لارا و استانکومیناسیان (۱۹) در مطالعه‌ای با عنوان «برنامه‌ریزی کسری ابزاری برای ارزیابی پایداری»، جنبه‌های نظری مختلف این رویکرد را برای ارزیابی معیارهای پایداری بررسی نموده و با ارائه مثالی کارایی آن را نشان داده‌اند. کاسترودز و همکاران (۹) در مطالعه خود با عنوان «جیره‌نویسی با مدل‌های چندهدفه کسری با معیارهای اقتصادی، تغذیه‌ای و زیست‌محیطی»، این نکته را برجسته نموده‌اند که علاوه بر هدف کاهش هزینه‌های برنامه‌های تغذیه‌ای دام در مدل‌های مرسوم جیره‌نویسی، از طریق مدل‌های چندهدفه کسری هم‌چنین می‌توان به هدف حداکثرسازی کارایی زیست‌محیطی یک جیره با جلوگیری از آسیب‌های زیست‌محیطی غیر قابل قبول دست یافت. کابالرو و هرناندز (۸) در مطالعه‌ای با عنوان «بهبود بهره‌وری در مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی با معیارهای کسری»، 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. گومز و همکاران (۱۶) با تدوین مدلی برای برنامه‌ریزی بهره‌برداری از جنگل در کوبا با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی کسری در یک دوره ۲۵ساله، راه‌کارهایی را برای حفاظت بلندمدت جنگل‌ها و جلوگیری از نابودی آنها از طریق لحاظ نمودن اهداف زیست‌محیطی کسری در کنار دیگر اهداف اقتصادی ارائه نمودند. پومار و همکاران (۲۴) نیز در مطالعه‌ای با عنوان «کاهش غلظت فسفر در جیره‌های دام با افزودن اهداف زیست‌محیطی به مدل‌های مرسوم»، تحقق این امر را با تعریف اهدافی کسری در مدل جیره‌نویسی دنبال نموده‌اند. ماروس و همکاران (۲۱) در مقاله‌ای با عنوان «مدل‌های بهینه‌سازی در محیط زیست و توسعه پایدار»، به برخی از مطالعات انجام شده در این رابطه با استفاده از انواع مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی اشاره نموده‌اند.

مواد و روش‌ها

تحلیل پایداری و رویکردهای برنامه‌ریزی ریاضی

برنامه‌ریزی کسری (Fractional programming, FP) از معروف‌ترین مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی (Mathematical programming, MP) برای اهدافی است که نسبتی از دو تابع هستند. این مدل‌ها کاربردهای فراوانی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع و سیستم‌های زراعی دارند (۲۵) و پیچیدگی‌های ناشی از غیرخطی بودن، ریسک و عدم حتمیت در مسائل کشاورزی و نیز افزودن تعداد معیارهای تصمیم‌گیری را می‌توان با فرم‌های کسری (غیرخطی) و افزودن تعداد توابع هدف در مدل‌های ریاضی لحاظ نمود (۱۹). در این مدل‌ها نیز مانند مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها (Data Envelopment Analysis, DEA)، کارایی چندین واحد تصمیم‌گیری از طریق حداکثرسازی نسبتی از خروجی‌ها (ستانده‌ها) به ورودی‌ها (نهاده‌ها) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در سیستم‌های کشاورزی، هرجا که بتوان MP را به‌کار برد، FP روشی طبیعی برای بررسی و مطالعه پایداری سیستم‌ها به‌شمار می‌رود (۱۹). تلاش محققان در سال‌های اخیر بیشتر در راستای ارزیابی و محاسبه پایداری در قالب یک کمیت و اندازه واحد، بر اساس مؤلفه‌ها و شاخص‌های مختلف پایداری به‌کمک روش‌های مختلفی از قبیل تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره (Multi Criteria Decision Making, MCDM) بوده است؛ برای مثال هانسن (۱۷) مزیت این رویکرد را امکان تحلیل و مقایسه اقدامات متفاوت در راستای پایداری ذکر می‌کند. ولی این رویکرد نیز همان‌طور که لارا و استانکومیناسیان (۱۹) بیان می‌دارند با مشکلاتی مواجه است. چون علاوه بر آن‌که رسیدن به اجماعی پیرامون جوانب و

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.8.6]

مؤلفه‌های پایداری مشکل است، ترکیب آنها برای محاسبه یک اندازه واحد نیز مستلزم وزن‌دهی آنها براساس اهمیت نسبی‌شان است که خود امر پیچیده‌تری است. در این راستا تلاش‌هایی نیز برای تدوین چارچوب‌های دیگری به‌منظور بررسی و تبیین مسائل پایداری صورت گرفته است. فونتس (۱۴) با اشاره به این مطلب که گرچه در رویکردهای اندازه واحد برای پایداری، می‌توان اندازه‌های واقعی مؤلفه‌های پایداری را محاسبه نمود و بر مبنای آن به تحلیل و مقایسه گزینه‌های مختلف در راستای پایداری پرداخت، ولی مفیدتر و راحت‌تر از تعریف حالت‌های پایدار، تعیین «مرز پایداری» اقدامات و اعمال در یک چارچوب جدید است. مبنای این چارچوب بر تعریف «مرزهای فضای پایداری (Borders of a sustainability space)»، با نشان دادن رویه‌هایی است که ادامه آنها در آینده منجر به ناپایداری سیستم می‌شود. وی در ادامه بیان می‌دارد که گرچه در این چارچوب کلیت پایداری استنتاج نمی‌شود، اما می‌توان شایستگی نسبی اقدامات و رویه‌های مختلف را استنتاج نمود. به این ترتیب مشخص می‌شود که کجا عواقب گزینه‌ها و رویه‌های مختلف در آینده مخاطره‌آمیز خواهد بود. در این چارچوب هدف صرفاً حداکثرسازی نیست، بلکه حداکثرساختن خروجی‌ها و حداقل ساختن ورودی‌ها مطرح است. بنابراین در تبیین پایداری بایستی به مقایسه سطوح خروجی‌های مطلوب یا شاخص‌های اقتصادی با سطوح نهاده‌ها یا خروجی‌های نامطلوب پرداخت. به‌عبارت دیگر همان‌گونه که مانتیث (۲۲) بیان می‌دارد، در حالت پایدار واحد تغییر در منابع را به‌ازای یک واحد خروجی حداقل می‌کنیم. 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 واقع جستجوی استفادهٔ به‌لحاظ فنی کارا از منابع به‌عنوان شرط ضروری پایداری در یک چارچوب بازدارنده (Preventive) است (۱۹). این ایده به مفهوم «بهینگی یا کارایی پارِتو»ی (Paretian efficiency) مطرح در MCDM منجر خواهد شد. به این معنا که مجموعه اقدامات کارا یا به‌عبارتی وضعیت‌های بیشتر پایدار، لزوماً به‌معنای پیش‌بینی قطعی یا احتمالی پایداری نیست و فقط شاخص‌های پایداری یا ستاده‌های مطلوب، راه‌حل‌هایی با مخاطرات و عواقب ناگوار کمتری برای پایداری سیستم محسوب می‌شوند. در این راستا مسئله کارایی مصرف آب کشاورزی به‌عنوان یکی از گسترده‌ترین مسائل پایداری مطرح است. هم‌چنین سطوح مناسب درآمد خالص و ایجاد فرصت‌های اشتغال نیز از جمله اساسی‌ترین خروجی‌های اقتصادی و اجتماعی مورد نیاز برای پایداری یک سیستم زراعی و نگهداری مردم در سیستم محسوب 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 نمود، اما با توجه به مباحث فوق هم‌چنین می‌توان مسئله را برای حداکثرسازی نسبت‌های درآمد به مصرف آب و ایجاد اشتغال به مصرف آب نیز فرموله کرد. هنگامی‌که مسئله مدیریت کمی نهاده‌ها و ستاده‌های یک سیستم مطرح است، نسبت‌ها رویکرد طبیعی‌تر و جامع‌تری برای بحث در مورد مسائل پایداری سیستم‌های کشاورزی هستند و علاوه بر آن بررسی و بحث در مورد مجموعه راه‌حل‌های حاصل را نیز (همان‌گونه که در ادامه خواهیم دید) تسهیل می‌کنند. به این ترتیب داشتن دو هدف به‌جای سه هدف، ابعاد مجموعه کارا (تعداد راه‌حل‌های مجموعه) را کوچک‌تر می‌کند و باعث راحت‌تر شدن فرآیند تصمیم‌گیری (انتخاب یک راه‌حل از مجموعه کارا) می‌شود. به‌طور کلی همان‌طور که رومرو و رِحمان (۲۵) اشاره می‌کنند، رابطه مستقیمی بین تعداد اهداف و اندازه مجموعه کارا وجود دارد. بنابراین استفاده از نسبت‌ها در تدوین مسائل پایداری، با اطمینان از انتخاب فقط راه‌حل‌های با بهترین سطح دستیابی به‌ازای مصرف واحد منابع همراه است.

برنامه‌ریزی کسری

به‌طور کلی چنانچه c و d بردار ضرائب، x بردار متغیرهای تصمیم در R^n ، a و b مقادیر ثابت و b بردار مقادیر سمت راست محدودیت‌ها در R^m باشد، ساختار ریاضی FP را می‌توان

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.8.6]

با فرض مثبت بودن مخرج کسر در S ، برای مسائل یک‌هدفه این گونه نوشت (۱۵):

$$\begin{aligned} &Max \quad g=(c^T x+a)/(d^T x+b) \\ &st: \quad x\in S=\{x\in R^n \mid Ax\le b; \quad x\ge 0; \quad b\in R^m\} \end{aligned} \qquad [1]$$

با اعمال تغییر متغیر $t=(1/d^T x+b)$ و $y=x.t$ با فرض مثبت بودن مخرج کسر، می‌توان مسئله کسری فوق را به فرم برنامه‌ریزی خطی معمولی با یک محدودیت تساوی و یک متغیر اضافی t به‌صورت زیر تبدیل نمود.

$$\begin{aligned} &Max \quad g=c^T y+a \\ &st: \quad Ay-bt\le 0; \quad d^T y+b.t=1; \quad y,t\ge 0 \end{aligned} \qquad [2]$$

روش فوق بر این فرض اساسی بنا نهاده شده است که چنانچه $(y',t')^T$ یک جواب بهینه مدل تبدیل یافته خطی فوق باشد، آنگاه $x'=y'/t'$ جواب بهینه‌ای برای مسئله کسری اولیه خواهد بود (۱۹). در ادامه به طور مختصر به رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی برای مسائل چندهدفه با اهداف کسری، مطابق با روش گومِز و همکاران (۱۶) می‌پردازیم.

برنامه‌ریزی آرمانی کسری

چنانچه چندین هدف کسری با عبارت‌های خطی در صورت و مخرج داشته باشیم و برای هرکدام از آنها مقدار مطلوبی (مثلاً از حل یک مدل یک‌هدفه کسری) مانند u وجود داشته باشد، مدل آرمانی برای حل مسئله عبارت خواهد بود از:

$$\begin{aligned} &Min \quad \sum_m w_m.n_m \\ &s.t. \quad x\in X_S \\ &\frac{c_m^t x+a_m}{d_m^t x+b_m}+n_m-p_m=u_m \quad ; \quad n_m,p_m\ge 0 \end{aligned} \qquad [3]$$

w_m وزن هدف mام است که از حاصل‌ضرب اهمیت نسبی آن در مخرج مناسبی جهت نرمالایز کردن آن به دست می‌آید و متغیرهای n_m و p_m نیز به‌ترتیب متغیرهای انحرافی مثبت و منفی هدف mام در دستیابی به مقدار مطلوب u_m هستند. برای خطی کردن محدودیت‌های تساوی غیرخطی فوق، هر معادله را در مخرج $d_m^t x+b_m$ به‌فرض مثبت بودن آن در فضای تصمیم، ضرب می‌کنیم تا در نهایت به مدل آرمانی خطی زیر برسیم.

$$\begin{aligned} &Min \quad \sum_m w_m n'_m \\ &s.t. \quad x\in X_S \\ &c_m^t x+a_m-(d_m^t x+b_m)u_m+n'_m-p'_m=0 \\ &n'_m,p'_m\ge 0 \end{aligned} \qquad [4]$$

مدل خطی اخیر معادل مدل غیرخطی فوق بوده و بین متغیرهای انحرافی آنها رابطه زیر برقرار است:

$$n'_m=n_m(d_m^t x+b_m); \quad p'_m=p_m(d_m^t x+b_m) \qquad [5]$$

داده‌های مورد استفاده و مدل تحقیق

داده‌های مربوط به پارامترهای هزینه بر هکتار، سود خالص یا عایدی بر هکتار محصول (که از رابطه $N_i = p_i.y_i - c_i$ به دست می‌آید) و نیاز نیروی کار بر هکتار (L_{ik}) محصولات، از طریق مصاحبه با کارشناسان خبره جهاد کشاورزی شهرستان اصفهان و مرکز خدمات کشاورزی منطقه و تکمیل پرسش‌نامه هزینه و درآمد محصولات زراعی (شامل گندم، جو، برنج، ذرت علوفه‌ای، یونجه و پیاز) 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 حمل‌ونقل محصول بوده است. ضرائب فنی نیاز آبی محصولات از گزارش «برآورد نیاز آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور» از سوی مؤسسه تحقیقات آب و خاک سازمان تحقیقات کشاورزی (۴) و نرم‌افزارهای OPTIWAT و NETWAT طرح «بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی مصرف آب کشاورزی» توسط علیزاده و همکاران (۵)، محاسبه و استخراج شده است. موجودی منابع آب منطقه در ماه‌های مختلف سال از مجموع دو نوع منبع سطحی و زیرزمینی و بر اساس آمارهای موجود در بانک نرم‌افزاری شرکت «میراب زاینده‌رود» و اداره آب‌های زیرزمینی سازمان آب منطقه‌ای اصفهان محاسبه و برآورد شده‌اند. موجودی نیروی کار در ماه‌های مختلف نیز بر

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.8.6]

اساس جمعیت بیکار و شاغل در بخش کشاورزی منطقه و با توجه به آمارهای سرشماری‌های نفوس و مسکن برآورد شده‌اند. جدول ۱ ساختار محدودیت‌های مدل، مقادیر سمت راست و ضرایب فنی فعالیت‌ها را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است از میان ۱۲ محدودیت ماهانه نیروی کار، تنها ۳ محدودیت مربوط به ۳ ماه تابستان در تدوین مدل‌ها در نظر گرفته شده‌اند و از بقیه، به دلیل آن‌که تأثیری در جواب‌ها نداشتند، صرف‌نظر شده است. این امر می‌تواند به دلیل نیاز بیشتر به نیروی کار در فصل تابستان در مقایسه با دیگر فصل‌ها باشد.

بر این اساس ساختار مدل اصلی مورد استفاده در قالب یک مسئله برنامه‌ریزی چندهدفه کسری، برای کارا نمودن مجموعه اهداف کسری تحقیق به صورت زیر فرموله و مطابق روش شرح داده شده در قبل، بر اساس روش‌شناسی برنامه‌ریزی آرمانی کسری حل شد.

$$Eff.\left\{\frac{\sum_i N_i x_i}{\sum_i W_i, x_i}, \frac{\sum_i L_i, x_i}{\sum_i W_i, x_i}\right\}$$

$$\begin{aligned}
&s.t. \\
&\sum_i (x_i)_s \le A && \forall_s \\
&\sum_i IWR_{ik}.x_i \le (h_a.SW_k + h_b.GW_k) && \forall_k \qquad [۶] \\
&\sum_i L_{ik}.x_i \le Md_k) && \forall_k \\
&\sum_i (x_i)_{S۱} - \sum_i (x_i)_{S۲} = ۰ \\
&\sum_i c_i.x_i \le Cr \\
&x_i \ge ۰ \quad (i = ۱, ۲, ..., ۶) \quad \text{و} \quad (k = ۱, ۲, ..., ۱۲)
\end{aligned}$$

در مدل فوق:

s	اندیس فصل زراعی ($s = ۱$: کشت‌های بهاره و $s = ۲$: کشت‌های پاییزه)
k	اندیس ماه‌های ۱۲گانه سال ($k = ۱, ۲, ... , ۱۲$)
y_i	عملکرد محصول iام (برحسب تن بر هکتار)
p_i	قیمت فروش محصول iام (برحسب میلیون ریال بر تن)
N_i	سود خالص (بازده برنامه‌ای) محصول iام (برحسب میلیون ریال بر هکتار)
L_i	مجموع نیروی کار مورد نیاز محصول iام در کل فصل زراعی (برحسب نفر- روز بر هکتار)
L_{ik}	مجموع نیروی کار مورد نیاز محصول iام در ماه kام از سال (برحسب نفر- روز بر هکتار)
Md_k	مجموع موجودی نیروی کار منطقه در ماه kام از سال (برحسب نفر- روز)
W_i	خالص آب آبیاری مورد نیاز محصول iام در کل فصل زراعی (برحسب ۱۰۰۰ متر مکعب بر هکتار)
IWR_{ik}	خالص آب آبیاری مورد نیاز محصول iام در ماه kام از سال (برحسب ۱۰۰۰ متر مکعب بر هکتار)
SW_k	مجموع آب‌های سطحی در دسترس در ماه kام از سال (برحسب ۱۰۰۰ متر مکعب)
GW_k	مجموع آب‌های زیرزمینی در دسترس در ماه kام از سال (برحسب ۱۰۰۰ متر مکعب)
η_a	راندمان آبیاری آب‌های سطحی در منطقه مورد مطالعه (درصد)
η_b	راندمان مزرعه‌ای آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه (درصد)
c_i	مجموع هزینه بر هکتار محصول iام (برحسب میلیون ریال بر هکتار)
Cr	کل موجودی سرمایه (برحسب میلیون ریال)

پارامتر Cr، به دلیل در دسترس نبودن آمار و اطلاعات مدونی از موجودی سرمایه در گردش منطقه، از حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی کالیبره (واسنجی شده) به دست آمده است. در این مدل که بر اساس الگوی کشت فعلی منطقه تدوین گردیده، متغیرهای تصمیم معادل سطح زیر کشت فعلی (یا کوچک‌تر از آن) و موجودی سرمایه (در سمت راست محدودیت سرمایه) بصورت متغیر در نظر گرفته شد تا میزان آن برآورد گردد (۱ و ۶).

نتایج و بحث

با توجه به داده‌های سه سطر اول (ضرائب فنی سود)، دوم (ضرائب فنی اشتغال) و سوم (ضرائب فنی مصرف آب طی دوره کشت) جدول ۱، سه تابع سود خالص، ایجاد اشتغال و

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.8.6]

جدول ۱. ماتریس ضرائب فنی متغیرها و مقادیر سمت راست محدودیت‌های مدل

اهداف، محدودیت‌ها و معیارها		فعالیت‌ها (محصولات زراعی عمده در منطقه) x_1 : گندم	x_2 : جو	x_3 : برنج	x_4 :ذرت علوفه‌ای	x_5 : یونجه	x_6 : پیاز	مقادیر سمت راست	
سود خالص (میلیون‌ریال)		۸/۷	۷	۱۸/۹	۲۹/۹	۸/۷	۱۹/۱		Max
اشتغال (نفر-روز)		۲۲/۴	۱۹/۴	۷۱/۱	۳۷/۳	۸۴/۲	۱۳۷/۳		Max
	کل فصل	۴۸	۴۰/۶	۱۵۱/۹	۶۳/۲	۱۰۴/۲	۶۰/۲		Min
	فروردین	۱۳/۸	۱۳/۸	۰	۰	۹/۹	۱۲/۹	۹۷۶۵۶/۸	≥
مصرف‌آب ($100\ m^3$)		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	≥
		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
	اسفند	۸/۱	۸/۱	۰	۰	۶/۱	۷/۴	۵۸۸۶۳/۲	≥
نیروی کار (نفر- روز)	تیر	۰/۱	۰/۱	۱۴/۴	۱۰/۲	۱۱/۵	۵۰	۴۱۰۰۰	≥
	مرداد	۰	۰	۱۴	۱۰/۷	۱۳	۵۰	۴۱۰۰۰	≥
	شهریور	۰	۰	۱۴	۱۱/۳	۱۴/۶	۲/۳	۴۱۰۰۰	≥
زمین (هکتار)		۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۲۰۰۰	≥
فصلی‌بودن فعالیت‌ها (تناوب زراعی)		+۱	+۱	-۱	-۱	-۱	+۱	۰	≤
سرمایه (میلیون‌ریال)		۶	۵/۶	۲۳	۲۱	۱۶/۵	۳۵/۵	۱۶۰۰۰۰	≥

مصرف آب به دست آمدند. از حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی یک‌هدفه‌ای برای حداکثرسازی هرکدام از دو تابع سود و اشتغال، دو الگوی کشت (سناریوهای A_1 و B_1) با مقادیر تابع هدف ۲۰۷۱۴۱ میلیون ریال و ۶۰۵۴۵۴ نفر- روز حاصل شد. با در نظر گرفتن این دو مقدار به‌عنوان مقادیر آرمانی و تدوین یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی (Linear goal programming) برای حداکثرسازی هم‌زمان این دو هدف و حل آن نیز الگوی کشت دیگری (سناریوی C_1) به دست آمد. با توجه به توابع هدف مربوطه این سه سناریو الگوهایی خطی هستند. در ادامه با توجه به هدف اصلی مطالعه، با تقسیم هرکدام از دو تابع سود و اشتغال مورد اشاره در سطور قبل بر تابع مصرف آب، دو تابع هدف جدید در فرم کسری حاصل شد که در واقع بیانگر دو شاخص پایداری مورد بحث در متن مقاله، برای ارزیابی پایداری یک سیستم زراعی هستند. از حل جداگانه دو مدل برنامه‌ریزی کسری یک‌هدفه (مطابق الگوریتم تشریح شده در قسمت مواد و روش‌ها برای خطی‌سازی و حل مدل‌های برنامه‌ریزی کسری) برای هرکدام از این دو هدف کسری نیز دو الگوی کشت دیگر (سناریوهای A_2 و B_2) با مقادیر تابع هدف ۰/۳۴۸ و ۰/۷۸۷ به دست آمد. به‌لحاظ فیزیکی، این مقادیر در واقع بیانگر میزان سود (برحسب میلیون ریال) و اشتغال (برحسب نفر- روز) حاصل به‌ازای هر واحد آب مصرفی (برحسب m^3) هستند. مجدداً با در نظر گرفتن این دو مقدار به‌عنوان مقادیر آرمانی و تدوین یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی کسری (Fractional goal programming) برای حداکثرسازی هم‌زمان دو هدف کسری (دو شاخص پایداری) فوق و حل آن الگوی کشت دیگری (سناریوی C_2) نیز حاصل شد. سه الگوی اخیر نیز با توجه به توابع هدفشان همگی الگوهایی کسری هستند. جدول ۲ سطح زیرکشت محصولات مختلف در الگوهای یادشده، مقادیر سود خالص، ایجاد اشتغال و مصرف آب و بر اساس آنها دو شاخص‌های پایداری هر الگو را نشان

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.8.6]

جدول ۲. الگوهای کشت حاصل از مدل‌های یک‌هدفه و چندهدفه خطی و کسری، همراه با مقادیر اهداف و شاخص‌های پایداری

سناریوها (الگوهای کشت)	سطح فعالیت‌ها						سود خالص	ایجاد اشتغال	مصرف آب	نسبت سود به مصرف آب	نسبت اشتغال به مصرف آب
	x_1: گندم	x_2: جو	x_3: برنج	x_4: ذرت	x_5: یونجه	x_6: پیاز					
فعلی	۵۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۱۹۳۵۰۰	۵۹۴۷۶۵	۷۹۶۴۵۰	۰/۲۴۳	۰/۷۴۷
A_1	۶۵۴۶	۰	۲۶۰	۴۴۷۸	۰	۵۶۷	۲۰۷۱۴۱	۴۰۹۹۰۸	۶۷۱۰۳۹	۰/۳۰۸	۰/۶۱
B_1	۰	۳۷۰۳	۸۲۵	۱۱۶۳	۳۰۱۲	۱۲۹۶	۱۲۷۶۴۷	۶۰۵۴۵۴	۷۴۱۱۰۹	۰/۱۷۲	۰/۸۱۷
C_1	۱۴۹۷	۲۲۲۴	۷۴۱	۱۲۴۷	۳۰۱۱	۱۲۷۹	۱۳۰۹۶۶	۶۰۴۹۵۶	۷۴۴۴۰۱	۰/۱۷۶	۰/۸۱۲
A_2	۰	۴۶۲۱	۰	۴۴۰۷	۰	۱۰۸۹	۱۸۵۲۴۰	۴۰۳۴۹۹	۵۳۱۸۷۵	۰/۳۴۸	۰/۷۵۸
B_2	۰	۵۳۶۵	۴۴۰	۲۸۰۳	۰	۱۳۸۰	۱۵۶۳۱۰	۴۲۹۳۱۰	۵۵۵۰۰۶	۰/۲۸۷	۰/۷۸۷
C_2	۰	۴۴۳۴	۰	۴۳۳۹	۰	۱۲۴۳	۱۸۴۸۲۸	۴۱۸۴۷۷	۵۲۹۲۴۱	۰/۳۴۹	۰/۷۹

می‌دهد. همان‌گونه 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. ادامه بحث به مقایسه نتایج این الگوها بخصوص در رابطه با دو شاخص معرفی و محاسبه شده به‌عنوان سنجه‌هایی برای پایداری سیستم زراعی منطقه می‌پردازد. مبنای چنین مقایسه‌ای ساختار کاملاً مشابه محدودیت‌ها (بر مبنای داده‌های ۹ سطر پایانی جدول شماره (۱)) در تمامی ۶ مدل خطی و کسری فوق در دو حالت یک‌هدفه و چندهدفه است تا به این ترتیب بتوان به ارزیابی مقایسه‌ای این الگوها (و در واقع توابع هدف آنها) در برآورده ساختن شاخص‌های پایداری مورد بحث دست زد.

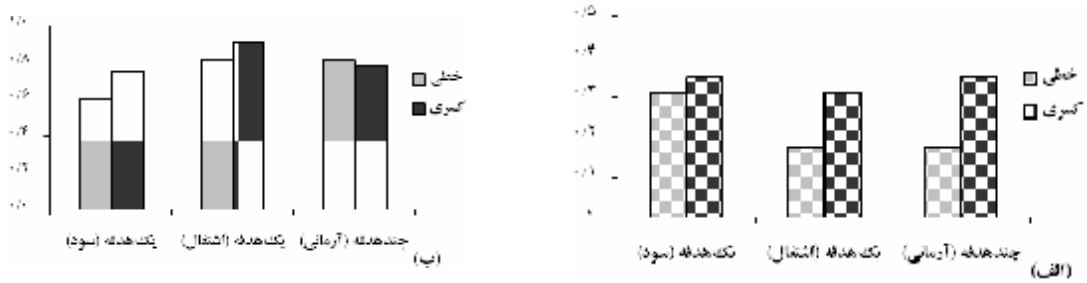
همان‌طور که ملاحظه می‌شود با در نظر گرفتن تنها هدف حداکثرسازی سود، شاخص‌های پایداری سود به مصرف آب و اشتغال به مصرف آب در مدل کسری به‌ترتیب ۱۲/۸ و ۲۴/۱ درصد نسبت به مدل خطی افزایش داشته‌اند. هم‌چنین با در نظر گرفتن تنها هدف حداکثرسازی اشتغال نیز شاخص‌های پایداری فوق به‌ترتیب ۷۹/۹ و ۱۱/۴ درصد افزایش دشته‌اند. در رویکرد چندهدفه برنامه‌ریزی آرمانی نیز گرچه شاخص نسبت اشتغال به مصرف آب در مدل کسری با کاهش ناچیز ۲/۷ درصدی در مقایسه با مدل خطی مواجه بوده، لکن نسبت اشتغال به مصرف آب ۹۸/۵ درصد افزایش نشان می‌دهد.

نمودارهای شکل ۱ اندازه‌های شاخص‌های پایداری مورد بحث را به‌طور مقایسه‌ای در مدل‌های خطی و کسری یک‌هدفه و چندهدفه نشان می‌دهند.

به طور کلی برتری مدل‌های کسری نسبت به مدل‌های خطی برای شاخص سود به مصرف آب بسیار بیشتر و بارزتر از شاخص دیگر اشتغال به مصرف آب بوده است. به‌علاوه در مدل چندهدفه کسری بهبودی در وضعیت این شاخص در مقایسه با مدل آرمانی خطی ایجاد نمی‌شود. دلیل این امر می‌تواند ویژگی دوگانگی ایجاد و حداکثرسازی اشتغال در بخش کشاورزی باشد. به علاوه بیشتر شدن اشتغال در کشاورزی بخصوص برای محصولاتی نظیر یونجه و برنج که نیاز بیشتری نیز به نیروی کار دارند، با افزایش بسیار زیاد هزینه‌های مربوطه نیز همراه است. به گونه‌ای که در جدول ۱ نیز نشان داده شده است، بیشترین ایجاد اشتغال (یا نیاز به نیروی کار) و هم‌چنین بیشترین میزان هزینه در هکتار درست به همین محصولات مربوط می‌شود که همگی نیز در الگوهای کشت حاصل از الگوهای پایداری (مدل‌های کسری) حذف شده‌اند. به هرحال بیشتر شدن ضرائب فنی اشتغال با افزایش هم‌زمان ضرائب 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.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.8.6]



شکل۱. اندازه شاخص‌های پایداری سود به مصرف آب (الف) و اشتغال به مصرف آب (ب) در مدل‌های خطی و کسری

با توجه به داده‌های جدول ۲، از نقطه‌نظر کارایی و با در نظر گرفتن هم‌زمان اهداف اقتصادی و اجتماعی پایداری یک سیستم زراعی، هر سه نقطه A_1 ، B_1 و C_1 بدلیل آن‌که از نظر هر دو شاخص مورد بحث ضعیف‌تر از نقاط دیگر هستند، به‌لحاظ فنی ناکارا تلقی می‌شوند. این امر در مورد نقطه مربوط به الگوی کشت فعلی نیز صادق است. بنابراین الگوهای به دست آمده از مدل‌های کسری به‌لحاظ هر دو شاخص پایداری بر الگوهای خطی و فعلی غالب بوده و کارا تلقی می‌شوند. هم‌چنین مدل کسری آرمانی نیز بر مدل کسری یک‌هدفه سود، بدلیل برتری هر دو شاخص غالب است. به این ترتیب ملاحظه می‌شود جواب‌هایی مانند نقطه C_1 که در چارچوب برنامه‌ریزی چندهدفه راه‌حل‌هایی مطلوب محسوب می‌شوند، به‌لحاظ پایداری سیستم مورد تردید واقع می‌شوند و این بدان دلیل است که جواب‌هایی را با نسبت‌های بالاتری از درآمد یا ایجاد اشتغال به‌ازای واحد مصرف آب می‌توان یافت. چنین راه‌حل‌هایی را با رویکردهایی مانند برنامه‌ریزی کسری می‌توان جستجو نمود.

نتیجه‌گیری

پایداری سیستم‌های تولید زراعی امر پیچیده‌ای است که از ابعاد و جوانب مرتبط متفاوتی تأثیر می‌پذیرد. اکثر شاخص‌های موجود برای پایداری دارای ماهیتی محیطی و اکولوژیکی بوده (۲۷) یا در سطوح کلان ملی و برای سیاستگذاری‌های کلان توسعه پیدا کرده‌اند (۲۳). چنین شاخص‌هایی به طور مستقیم با مسائل تصمیم‌گیری و مدیریت مزرعه‌ای ارتباطی ندارند و برای ارزیابی و تحلیل پایداری سیستم‌های زراعی در این سطوح مناسبت چندانی ندارند. به علاوه با توجه به ابهام موجود در تعریف پایداری و جوانب و جلوه‌های آن و در نتیجه عدم امکان گنجانیدن آن در تعریفی واحد، تدارک و توسعه نظامی از شاخص‌ها بسته به مقیاس و هدف هر مطالعه، امری مفید و ضروری بنظر می‌رسد. رهیافت برنامه‌ریزی کسری مورد استفاده در مقاله حاضر روش مناسبی برای مطالعه پایداری در چارچوب تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره (MCDM) به نظر می‌رسد. زمانی که مطالعه و مدیریت کمی ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم زراعی مورد نظر باشد، نسبت‌ها (تعریف اهداف به صورت کسری) راه‌حلی طبیعی برای بررسی و بحث پیرامون پایداری این سیستم‌ها بوده و علاوه بر آن مقایسه و ارزیابی راحل‌های مختلف برای این دست مسائل را نیز آسان‌تر می‌سازد. تعریف و بهینه کردن نسبت‌هایی مانند آنچه در قسمت‌های قبل به آن پرداختیم، امکان بهبود جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی یک سیستم زراعی را با کاهش مصرف منابع کمیاب محیطی فراهم می‌آورد. بنابراین، از این طرق می‌توان اثرات مخاطره‌آمیز محیطی فعالیت‌های زراعی را با استفاده و بهره‌گیری کارا و کارآمد منابع کاهش داد. رویکرد مطالعه حاضر بر مبنای بهینه‌سازی الگوی کشت، تلاشی است در جهت یافتن راه‌حلی برای بهبود پایداری یک سیستم زراعی در سطح مزرعه و حتی منطقه‌ای. به این‌ترتیب ماندگاری و تداوم توسعه سیستم از طریق تعیین و تشخیص نماگرها و موانع توسعه پایدار کشاورزی تا اندازه‌ای تضمین خواهد شد.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.8.6]

منابع مورد استفاده

۱. اسدپور، ح. ۱۳۸۲. کاربرد مدل برنامه‌ریزی خطی آرمانی قطعی و فازی در مطالعه اقتصادی سیاست‌های کشاورزی بخش زراعت شرق استان مازندران. پایان‌نامه دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲. رائو، پی. ان. تی. ک. ۱۳۸۵. *توسعه پایدار اقتصادی و ساز و کارها* (ترجمه احمدرضا یاوری). انتشارات دانشگاه تهران.

۳. زاهدی، ش. ۱۳۸۶. *توسعه پایدار*. انتشارات سمت، تهران.

۴. فرشی، ع.، م. شریعتی، ر. جاراللهی، م. قائمی، م. شهابی‌فر و م.م. تولایی. 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.

۵. علیزاده، الف. و غ. کمالی. ۱۳۸۶. *نیاز آبی گیاهان در ایران*. دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.

۶. کرامت‌زاده، ع.، الف.ح. چیذری و الف. میرزایی. 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 ۵۴: ۳۵-۶۰.

7. Adeogun, T.A., A.B. Nielsen and O.M. Truelsen. 1999. Putting sustainable development into practice: Tanzania as a case study. The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark.
8. Caballero, R. and M. Hernández. 2006. Restoration of efficiency in a goal programming problem with linear fractional criteria. Eur. J. Oper. Res. 172: 31–39.
9. Castrodeza, C., P. Lara and T. Peňa. 2005. Multicriteria fractional model for feed formulation: economic, nutritional and environmental criteria. Agric. Sys. 86: 76–96.
10. Clayton, M.H. and N.J. Radcliffe. 1996. Sustainability; A Systems Approach. Earth Scan Pub. Ltd., London.
11. Conway, D., M. Hulme, P. M. Kelly, S. Subak and T. E. Downing. 1995. The impacts of climate change on Africa. CSERGE Working Paper. University of East Anglia, UK.
12. Cornelissen, A. M .G. 2003. The Two Faces of Sustainability; Fzzuy Evaluation of Sustainable Development. Wagenengen University, The Netherlands.
13. Europäische Kommission General Direktion Landwirtschaft. 2001. Ein Konzept für Indikatoren der wirtschaftlichen und sozialen Dimensionen einer nachhaltigen Landwirtschaft und Entwicklung des ländlichen Raums. Brüssel.
14. Fuentes, E. R. 1993. Scientific research and sustainable development. Ecol. Appl. 3(4): 576-577.
15. Goedhart, M. H. and J. Spronk .1995. Financial planning with fractional goals, theory and methodology. Eur. J. Oper. Res. 82: 111-124.
16. Gómez, T., M. Hernández, M. A. León and R. Caballero. 2006. A forest planning problem solved via a linear fractional goal programming model. Forest Ecol. and Manag. 227: 79–88.
17. Hansen, J. W. 1996. Is agricultural sustainability a useful concept?. Agric. Sys. 50(2): 117-143.
18. Kidd, C. V. 1992. Evaluation of sustainability. J. Agric. and Environ. Ethics 5(1): 1-26.
19. Lara, P. and I. Stancu-Minasian. 1999. Fractional programming: A tool for the assessment of sustainability. Agric. Sys. 62: 131-141.
20. Lusigi, W. 1995. Planning of Human Activities on Protected Natural Ecological Systems. Technical University of Munich, Germany.
21. Maros, I., G. Arabatzis and A. Sifaleras. 2009. Special issue on “Optimization models in environment and sustainable development’’. Oper. Res. Intel. J. 9: 225–227.
22. Monteith, J. L. 1990. Can sustainability be quantified?. Ind. J. Dryland Res. and Develop. 5(1): 1-5.
23. Pannell, D. J. and N. A. Glenn. 2000. A framework for the economic evaluation and selection of sustainability indicators in agriculture. Ecol. Econ. 33: 135-149.
24. Pomar, C., F. Dubeau, M.-P. Létourneau-Montminy, C. Boucher and P.-O. Julien. 2007. Reducing phosphorus concentration in pig diets by adding an environmental objective to the traditional feed formulation algorithm. Livestock Sci. 111: 16–27.
25. Romero, C. and T. Rehman. 1989. Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions. Elsevier, Amsterdam.
26. Schultink, G. 2000. Critical environmental indicators: performance indices and assessment models for sustainable rural development planning. Ecol. Model. 130: 47–58.
27. Smyth, S. and J. Dumanski. 1993. FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management. World Soil Resour. Rep. 73, FAO (Land and Water Development Division).

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.8.6]