

تعیین الگوی کشت محصولات زراعی با تاکید بر کشاورزی پایدار در اراضی زیر سد علویان

جواد حسین زاد^{1*}، آیدا نامور²، باب اله حیاتی¹ و اسماعیل پیش بهار³

تاریخ دریافت: 92/1/26 تاریخ پذیرش: 93/2/1

1- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تبریز

2- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تبریز

3- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تبریز

*. مسئول مکاتبه: E-mail: j_firoozy@yahoo.com

چکیده

تخصیص عوامل تولید بین فعالیتهای مختلف زراعی به نحوی که همراه با در نظر گرفتن اهداف مناسب اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی واحد کشاورزی باشد، به واقعیت‌های کشاورزی پایدار نزدیک‌تر است. در طی سال‌های اخیر استفاده بیش از حد و غیرمعتدل از مواد شیمیایی در کشاورزی و استفاده بی‌رویه از آب و بکارگیری روش‌های نامناسب آبیاری وضعیت نگران‌کننده و ناپایداری را در فعالیتهای کشاورزی کشور بوجود آورده است. به نظر می‌رسد مجموعه اراضی کشاورزی زیر سد و شبکه علویان (دشت مراغه-بناب) نیز از این قاعده مستثنی نبوده و هر ساله مقادیر زیادی از مواد شیمیایی مضر در قالب کودها و سموم شیمیایی در آنجا بکار گرفته می‌شود. بر این اساس در مطالعه حاضر سعی شده است تا الگوی بهینه کشت محصولات زراعی با تاکید بر برخی اهداف مهم کشاورزی پایدار براساس داده‌های مقطعی سال زراعی 90-1389 در این منطقه تعیین شود. اطلاعات مورد نیاز این پژوهش با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی دومارحله‌ای از طریق تکمیل 288 پرسش‌نامه از سطح 26 روستای دشت مراغه- بناب بدست آمد. برای نیل به اهداف تحقیق، از الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه استفاده شد. هر چند در الگوی برنامه‌ریزی کسری در کوتاه مدت درآمد ناخالص، کمتر از وضعیت فعلی است ولیکن با در نظر گرفتن عوارض منفی وضعیت ناپایدار فعلی، که هزینه‌های غیرمستقیم زیادی را بر جامعه و محیط کشاورزی تحمیل می‌کند، قابل توجیه خواهد بود. همچنین براساس الگوی فوق‌الذکر مصرف آب به گونه‌ای تنظیم می‌شود که عمدتاً در ماه‌های مختلف کمبودی از لحاظ این منبع در منطقه وجود نداشته باشد. در ضمن با در نظر گرفتن نتایج الگوی برنامه‌ریزی کسری مصرف مواد شیمیایی زیان‌آور از جمله کودها و سموم شیمیایی نیز در حداقل خود خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، اراضی زیر سد و شبکه علویان، برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه، کشاورزی پایدار

Determination of Crop Pattern with Emphasis on Sustainable Agriculture in the Lands Below the Alavian Dam and its Network

J Hosseinzad^{1*}, A Namvar², B Hayati¹ and E Pishbahar³

Received: March 21, 2013 Accepted: April 21, 2014

1- Assoc prof, Dept of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- MSc Student of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- Assist prof, Dept of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Corresponding author: j_firoozy@yahoo.com

Abstract

Allocation of production factors is closer to reality of sustainable agriculture if this allocation accompanied by economic, social and environmental goals. In recent years the use of excessive and unreasonable chemicals in agriculture has led to soil and water pollution and also cause to human disease. Also Irregular usage of water and using inappropriate methods of irrigation has caused many environmental and economic problems. Therefore, the supply of this vital resource is limited. Adverse effects of chemicals uses in many parts of Iran's rural are considered. The lands under Alavian dam (Maragheh- Bonab plain) are one of these areas, that every year a large amount of harmful chemicals used there. Accordingly, the present study was to optimize the pattern of cultivated crops with emphasis on some important objectives of sustainable agriculture. To achieve the objectives of this study we use from multiobjective fractional programming. Although the income that obtain from fractional programming model be less than current situation's income but with considering the negative effects of the current unstable situation and a lot of indirect costs on society, environment and agriculture it would be justifiable. Also if we use fractional programming pattern, there will be no shortage of water consumption in region and also consumption of harmful chemicals such as fertilizers and pesticides would be minimal.

Keywords: Alavian dam, Maraghe- Bonab plain, Multiobjective fractional programming, Optimal allocation , Sustainable agriculture.

بشر تامین نیازهای غذایی است، به گونه‌ای که امنیت غذایی به عنوان یکی از اهداف مهم سرلوحه برنامه‌های دولت‌ها قرار گرفته است. با گذشت زمان، مدیریت منابع به موازات رشد جوامع، پیچیده‌تر می‌شود و همزمان با

مقدمه

کشاورزی به عنوان یکی از محورهای اساسی رشد و توسعه، نقش مهمی در توسعه اقتصادی کشورها دارد. در جهان امروز یکی از مشکلات اساسی

به حداقل رساندن و تولید و درآمدهای حاصل از مزرعه را در سطح رضایت بخشی تثبیت کند (هانسن 1996). از آنجایی که هدف اصلی علم اقتصاد، تخصیص منابع کمیاب بین فعالیت‌های رقیب است، لذا استفاده از روش‌ها و تکنیک‌هایی که بتواند به اهداف مذکور تحقق بخشد ضروری می‌باشد. یکی از روش‌هایی که در زمینه تخصیص بهینه منابع کمیاب کاربرد فراوان دارد، استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی است. الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی از دهه‌های گذشته و بویژه در عصر حاضر برای نیل به اهدافی از قبیل سیاست‌گذاری در بخش کشاورزی، تعیین الگوی بهینه کشت و ترکیب نهاده‌های کشاورزی و بررسی الگوهای مختلف کشت کاربرد فراوانی یافته است. هرچند در اغلب مناطق هدف کشاورزان حداکثرسازی درآمد خالص است، اما در اهداف کشاورزی پایدار علاوه بر دستیابی به سود مورد نظر اهداف دیگری از جمله تولید کارآمد، کاهش مصرف آب، زمین و کاهش مصرف کودهای شیمیایی و سموم و در نتیجه حفاظت محیط زیست و توسعه پایدار کشاورزی نیز مدنظر می‌باشند (منصوری و کهنسال 1384). بنابراین الگوهای برنامه‌ریزی باید به نحوی طراحی گردند که علاوه بر اهداف درآمدی، اهداف پایداری را نیز مدنظر قرار دهند. از جمله الگوهای مناسب برنامه‌ریزی برای این کار رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی کسری می‌باشد. برنامه‌ریزی کسری از معروف‌ترین مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای اهدافی است که نسبتی از دو تابع هستند. این مدل‌ها کاربردهای فراوانی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع و سیستم‌های زراعی دارند (رومرو و رحمان 1989) و پیچیدگی‌های ناشی از غیر خطی 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 (لارا و استانکو میناشین 1999).

افزایش جمعیت و رشد اقتصادی کشورها، تقاضا برای مواد غذایی نیز رو به افزایش می‌گذارد. پاسخگویی به این نیازها موجب به کارگیری ابزارهای مدرن و مواد شیمیایی جدید مانند انواع کودهای شیمیایی و سموم شده است. ولیکن استفاده بیش از حد و خارج از استاندارد این مواد شیمیایی موجب بروز آثار منفی جسمی برای مصرف‌کنندگان و آلودگی محیط زیست شده است. تأثیرات نامطلوب کودها و آفت‌کش‌ها بر محیط زیست منجر به توجه بیشتر و استفاده از روش‌هایی گردیده که در آن نیازی به مصرف مواد شیمیایی نبوده یا کم باشد و این هدف موجب شده که بحث پایداری در کشاورزی و توجه به کشاورزی بوم شناختی مورد توجه قرار گیرد. کشاورزی پایدار نوعی کشاورزی است که در جهت منافع انسان بوده، کارایی بیشتری در استفاده از منابع داشته و با محیط در توازن است. کنگره ایالت متحده آمریکا در سال 1990 کشاورزی پایدار را این گونه تعریف می‌کند: "کشاورزی پایدار به سامانه یکپارچه تولید محصولات گیاهی و دامی اطلاق می‌شود که در هر منطقه ویژگی‌های منطبق با آن منطقه را دارد و ویژگی‌های آن در بلندمدت شامل استفاده کارآمد از منابع، حفاظت از منابع تجدیدپذیر، حداکثر استفاده از منابع درون مزرعه، عدم استفاده از فناوری‌های انرژی‌خواه، جایگزینی انرژی‌های نوین از قبیل انرژی خورشیدی و باد، تعدیل استفاده از ماشین‌آلات و جایگزینی ماشین‌آلات چندمنظوره در مزارع، استفاده از کنترل زیستی و چرخش مواد در داخل کشت بوم و افزایش تنوع گونه‌های زراعی دامی است" (لارا و استانکو میناشین 1999). از دیدگاه مدیریتی، پایداری در کشاورزی به راه‌کارهایی اطلاق می‌گردد که به مدیر مزرعه کمک می‌کند تا مجموعه‌ای از عملیات، فرآیندها، گونه‌های زراعی، مدیریت آفات و بیماری‌ها، نظام‌های خاک ورزی و تناوب زراعی را انتخاب کند که هزینه تولیدش را کاهش دهد، اثرات جانبی کشت بوم را بر بوم نظام‌های مجاور

(1999) برنامه‌ریزی کسری را به عنوان ابزاری جهت سنجش پایداری معرفی کردند. هدف کلی این مطالعه، معرفی روش برنامه‌ریزی کسری به عنوان ابزاری برای مدیریت سیستم‌های کشاورزی می‌باشد. ایشان، با استفاده از مثالی، نسبت سود به میزان آب مصرفی و نسبت نیروی کار به میزان آب مصرفی را به شرط محدودیت‌هایی از جمله سرمایه، زمین مورد استفاده و تناوب زراعی، حداکثر کردند و به این نتیجه رسیدند که موانع محاسباتی روش داتا- راثو- تیواری کمتر از روش نیکوفسکی و زولکیفسکی می‌باشد. کاسترودز و همکاران (2005) با هدف جیره نویسی برای تغذیه دام‌ها از مدل‌های چندهدفه کسری با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، تغذیه‌ای و زیست محیطی استفاده نمودند. ایشان سعی کردند علاوه بر هدف کاهش هزینه‌های برنامه‌های تغذیه‌ای دام که در مدل‌های مرسوم جیره نویسی وجود دارد، از طریق مدل‌های چندهدفه کسری به هدف حداکثرسازی کارایی زیست‌محیطی یک جیره جهت جلوگیری از آسیب‌های زیست‌محیطی نیز دست پیدا کنند. از جمله مطالعات دیگر در این زمینه می‌توان به کهنسال و فیروز زارع (1387)، زمانی و همکاران (1389)، پومار و همکاران (2007)، دانشور و همکاران (2009) اشاره کرد.

با توجه به اهمیت موضوع و در تکمیل تحقیقات انجام گرفته در مطالعه حاضر نیز سعی شده است تا با بهره‌گیری از الگوی برنامه‌ریزی کسری الگوی بهینه کشت با توجه به برخی اصول کشاورزی پایدار برای یکی از مناطق مستعد کشاورزی ایران تعیین شود. این منطقه اراضی زراعی پایاب سد علویان واقع در دشت مراغه- بناب را شامل می‌شود که دارای مساحتی در حدود 2801/58 هکتار می‌باشد. اراضی زیر پوشش نهر علویان در سمت راست رودخانه صوفی‌چای و پائین دست سد مخزنی علویان قرار گرفته است. محدوده مورد مطالعه که در حوزه صوفی‌چای قرار دارد مشتمل بر 30 روستا می‌باشد. منبع اصلی آب سطحی

گرچه بکارگیری مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای برنامه‌ریزی‌های زراعی دارای سابقه و دامنه بسیار گسترده‌ای است، لیکن استفاده از نوع خاصی از این مدل‌ها یعنی برنامه‌ریزی کسری برای منظور خاصی مانند ارزیابی پایداری، موضوعی تقریباً تازه است. بریم نژاد و یزدانی (1383) با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی کسری به اندازه‌گیری و تحلیل پایداری در مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی استان کرمان پرداختند. در این مطالعه آنان به صورت تئوری و تجربی کاربرد این روش را برای محاسبه پایداری نشان دادند و شاخصی برای پایداری محاسبه نمودند و در انتها به این نتیجه رسیدند که اگر دولت یا مدیر، سیاستی خاص را جهت الگوی کشت منطقه در نظر بگیرد، در این حالت شاخص پایداری تفاوت می‌کند. موسوی و قرقانی (1388) به محاسبه شاخص‌های پایداری آب کشاورزی شهرستان مرودشت با استفاده از مدل برنامه‌ریزی کسری پرداختند. به دلیل اهمیت میزان آب مصرفی کشاورزی در این شهرستان، شاخص‌های پایداری نسبت درآمد ناخالص به استفاده از آب (0/53 و 3/06) و نسبت اشتغال به استفاده از آب (0/265 و 0/072) در دو سناریو در سال زراعی (86-1385) بدست آمد. ایشان به این نتیجه رسیدند که، کاهش آب مصرفی محصولات از طریق فن‌آوری‌های جدید آبیاری و افزایش راندمان آبیاری در واحد سطح برای افزایش این شاخص‌ها، نشان‌دهنده حرکت در جهت پایداری آب کشاورزی است. امینی فسخودی و نوری (1390) به ارزیابی پایداری در سیستم زراعی منطقه‌ای روستایی در شرق شهر اصفهان پرداختند و سعی نمودند الگوی کشتی متناسب با بهره برداری بهینه از منابع آب و خاک آن منطقه با استفاده از رهیافت الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی تدوین نمایند. ایشان نتیجه گرفتند که الگوی برنامه‌ریزی کسری روش مناسبی برای مطالعه پایداری در چارچوب تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره به نظر می‌رسد. لارا و استانکو میناشین

وضعیت تولید محصولات زراعی با رعایت اصول پایداری در مقایسه با عدم رعایت آن به عمل آید. بر این اساس در مطالعه حاضر سعی شده است تا الگوی بهینه کشت محصولات زراعی با تاکید بر برخی اهداف مهم کشاورزی پایدار در این منطقه تعیین شود.

مواد و روش‌ها

در روش‌های معمول بهینه‌یابی از طریق برنامه‌ریزی خطی، تابع هدف نسبت به محدودیت‌های موجود حداکثر یا حداقل می‌شود. در این حالت نقش تمامی نهاده‌ها در جریان تولید یکسان فرض می‌گردد، در حالی که در روش برنامه‌ریزی کسری می‌توان محدودیت‌های کشاورزی پایدار را در تابع هدف وارد و استفاده از نهاده‌های مختل کننده کشاورزی پایدار را حداقل کرد (لارا و استانکو میناشین 1999). استفاده از این روش مشخص می‌کند که برای حرکت به سمت کشاورزی پایدار چه تغییراتی باید در الگوی کشت و مدیریت منطقه ایجاد شود. بر همین اساس و با توجه به قابلیت‌های مدل برنامه‌ریزی کسری در مطالعه حاضر نیز از این رهیافت بهره گرفته می‌شود.

شکل کلی مدل برنامه‌ریزی کسری خطی (LFP¹) به صورت زیر است (لارا و استانکو میناشین 1999):

$$\text{Max } r(x) = \frac{a^T X + a}{b^T X + b} \quad [1]$$

s.t:

$$A X \leq C$$

$$X \geq 0; X \in R^n; A \in R^{m \times n}, b \in R^n, C \in R^m$$

$$a, b \in R$$

در این مدل:

A نشان‌دهنده ماتریس ضرایب فنی، X نشان‌دهنده ماتریس متغیرهای تصمیم، C ماتریس منابع یا ماتریس مقادیر سمت راست، a, b نشان‌دهنده

روستا‌های مذکور رودخانه صوفی‌چای می‌باشد. علاوه بر منبع آب سطحی در بعضی روستاها از منابع آب زیر زمینی (عمدتاً) چاه نیز به منظور جبران کمبود آب سطحی جهت آبیاری در کشاورزی استفاده می‌شود. اراضی محدوده آبیاری و زهکشی صوفی‌چای (زیر دست سد علویان) به چهار بخش اصلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از: منطقه یک (اطراف شهر مراغه)، منطقه دو (ساحل راست رودخانه صوفی‌چای)، منطقه سه (ساحل چپ رودخانه صوفی‌چای)، منطقه چهار (دشت بناب) (حسین زاد 1383). محصولات زراعی مختلفی در این منطقه کشت می‌شوند که از مهمترین آن‌ها می‌توان به گندم، جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای و پیاز اشاره کرد.

به نظر می‌رسد در مجموعه اراضی زیر سد و شبکه علویان هر ساله مقادیر زیادی کودها و سموم شیمیایی در فعالیت‌های زراعی به کار گرفته می‌شود. عوارض زیست محیطی ناشی از کاربرد بیش از حد مواد شیمیایی و همچنین مصرف نامناسب و بهره برداری بی‌رویه از منابع محدود آبی که به بهانه انجام فعالیت‌های کشاورزی در این منطقه رواج دارد، وضعیت ناپایداری را از لحاظ استفاده از منابع تولیدی بخصوص آب و خاک و مسائل زیست محیطی و سلامتی بوجود آورده است. بر همین اساس و با توجه به اهمیت محصولات زراعی در ترکیب تولیدات کشاورزی مناطق پایاب سد علویان و نیز فقدان مطالعات در زمینه بهره‌گیری مطلوب از امکانات موجود، ضرورت انجام مطالعه‌ای را در رابطه با شناخت ترکیب بهینه تولیدات زراعی با در نظر گرفتن برخی اصول مهم کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست ایجاب می‌نماید. با توجه به قابلیت‌های مدل برنامه‌ریزی کسری برای لحاظ محدودیت‌های پایداری در انتخاب الگوی کشت، در این مطالعه نیز سعی میشود از این رهیافت بهره گرفته شود. نتایج حاصل از حل الگوی برنامه‌ریزی کسری با نتایج الگوی کشت فعلی در منطقه مورد مطالعه مقایسه می‌شود تا تحلیل مناسبی از

¹ -Linear Fractional Programming

روش‌های حل برنامه‌ریزی کسری

به منظور حل الگوی برنامه‌ریزی کسری خطی ابتدا بایستی آن را به فرم برنامه‌ریزی خطی معمولی تبدیل نموده و سپس با استفاده از روش سیمپلکس حل کرد. چارنز و همکاران (1978) و داتا و همکاران (1993) با بکارگیری روشی، برنامه‌ریزی کسری خطی را به برنامه‌ریزی معمولی تبدیل کردند. این روش براساس تغییر متغیرهای اصلی برای مسئله LFP بنا نهاده شده است. این تغییر به صورت رابطه (4) می‌باشد:

$$y = \frac{1}{d(X)} X \quad \text{و} \quad t = \frac{d}{d(X)} \quad [4]$$

با ایجاد تغییراتی در معادله (1) می‌توان یک راه ساده برای حل برنامه‌ریزی خطی به دست آورد.

$$\text{Max} \quad a^T + at \quad [5]$$

s.t.

$$Ay^T - Ct \leq 0$$

$$b^T y + bt = 1$$

$$y, t \geq 0$$

در این حالت تابع هدف، شکل تغییر یافته صورت کسر می‌باشد و شکل تغییر یافته مخرج کسر به عنوان یک قید در ناحیه قابل دسترس اضافه شده است. اساس این روش این است که اگر y, t جواب بهینه مسئله تغییر یافته باشد، آنگاه $X = \frac{y}{t}$ جواب بهینه مسئله اولیه کسری است. روش فوق به نام روش داتا- راثو- تیواری معروف است.

بر این اساس اگر مدل برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه به صورت رابطه (6) نشان داده شود:

$$\text{eff. } F(x) = \left\{ \frac{n_1(x)}{d_1(x)}, \frac{n_2(x)}{d_2(x)}, \dots, \frac{n_q(x)}{d_q(x)} \right\} \quad [6]$$

s.t.

$$AX \leq C$$

$$X \geq 0$$

ماتریس ضرایب، R^n نشان‌دهنده ماتریس اعداد حقیقی شامل n سطر، $R^{m \times n}$ نشان‌دهنده ماتریس اعداد حقیقی شامل m سطر و n ستون و a, b هم پارامترها می‌باشند.

در رابطه (1) امکان دارد برای هر مقدار X ، مقدار $b^T X + b$ برابر با صفر در نظر گرفته شود. برای اجتناب از این واقعه فرض می‌شود که شرایط زیر برقرار باشند:

$$b^T X + b \neq 0 \rightarrow [X \geq 0, AX \leq C] \quad [2]$$

در این نوع از برنامه‌ریزی صورت کسر بیانگر هدفی است که مایل به حداکثر کردن آن و مخرج بیانگر هدفی است که مایل به حداقل کردن آن می‌باشیم. بنابراین در کل، هدف حداکثر نمودن نسبت تبیین شده در رابطه (1) می‌باشد (چارنز و همکاران 1978).

چنانچه چندین هدف کسری با عبارت‌های خطی در صورت و مخرج تابع هدف در نظر گرفته شود در آن صورت بایستی به منظور دستیابی به همه اهداف کسری از الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه استفاده شود. از آنجائیکه در مباحث مربوط به پایداری کشاورزی معمولاً چندین هدف کسری به صورت یکجا استفاده می‌شوند معمولاً از این روش برای تعیین الگوی بهینه کشت بهره گرفته می‌شود. در حالت عمومی شکل کلی برنامه‌ریزی کسری خطی با اهداف چندگانه به فرم رابطه (3) می‌باشد (لارا و استانکو میناشین 1999):

$$\text{Max} Z(X) = \{Z_1(X), Z_2(X), \dots, Z_n(X)\} \quad [3]$$

S.t:

$$AX \leq C$$

$$X \geq 0 ; X \in R^n ; A \in R^{m \times n}, b \in R^n, C \in R^m$$

$$a, b \in R$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n \quad Z_i = \frac{a_i^T X + a_i}{b_i^T X + b_i}$$

Z ها نشانگر اهداف کسری و i نشانگر هدف کسر

تأم می‌باشد.

S_{ji} = میزان سم شیمیایی لازم مصرف شده برای هر هکتار محصول آم به واحد لیتر

W_{ji} = میزان آب مصرف شده در ماه لازم برای هر هکتار از محصول آم در به واحد متر مکعب

C_i = بازده برنامه‌ای یا درآمد ناخالص حاصل از هر واحد فعالیت یا محصول آم به واحد ریال

همانطور که رابطه (8) نشان می‌دهد، تابع هدف مدل برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه شامل دو قسمت می‌باشد:

1- محدودیت‌هایی که در صورت تابع هدف لحاظ شده‌اند. این محدودیت‌ها مربوط به کودهای شیمیایی ازته، فسفات و پتاسه، محدودیت‌های مربوط به سموم شیمیایی علف کش، حشره کش و قارچ کش و محدودیت‌هایی که مربوط به میزان مصرف آب در هر یک از ماه‌های سال می‌باشند.

2- درآمد ناخالص یا بازده برنامه‌ای محصولات که در مخرج تابع هدف لحاظ شده‌اند.

بنابراین در این حالت بایستی تابع هدف برنامه‌ریزی کسری حداقل شود تا صورت کسرها (میزان مصرف انواع کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و آب) حداقل و مخرج کسرها (میزان درآمد ناخالص یا بازده برنامه‌ای محصولات) حداکثر شود.

شاخص‌های پایداری

شاخص ابزاری برای مقایسه تغییرات یک پدیده در دو زمان متفاوت است. اصولاً برای ارزیابی و پیش‌بینی بهتر هر موضوعی شاخص‌هایی تعیین می‌شود. برای کشاورزی پایدار نیز شاخص‌هایی در نظر گرفته شده است که کاربرد آنها این امکان را فراهم می‌کند تا مشخص شود که آیا اقدامات ما در جهت کشاورزی پایدار بوده است یا خیر (کوچکی 1376). در مطالعه حاضر سه نوع شاخص پایداری زیست محیطی که مربوط به مصرف کودها، سموم شیمیایی و همچنین

آنگاه مسئله تغییر یافته به صورت رابطه (7) نشان داده می‌شود:

$$eff.F(x) = \{n_1(y), n_2(y), \dots, n_q(y)\} \quad [7]$$

s.t.

$$Ay - Ct \leq 0$$

$$d_1(y) = d$$

$$y, t \geq 0$$

جواب‌های کارا برای الگوی (7) در رابطه با الگوی (6) نیز کارا خواهد بود. در نتیجه بجای مسئله (6) می‌توان مسئله (7) را حل کرد (داتا و همکاران 1993).

در این مطالعه تابع هدف الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه به شکل رابطه (8) تبیین می‌گردد که تحت محدودیت‌هایی از جمله محدودیت زمین زراعی، محدودیت‌های مربوط به کودها و سموم شیمیایی، محدودیت‌های آب در ماه‌های آبیاری، محدودیت‌های نیروی کار در ماه‌های مختلف سال، محدودیت‌های ماشین‌آلات و محدودیت‌های مربوط به نیاز خودمصرفی، در نظر گرفته می‌شود.

$$\begin{aligned} Min Q = & \sum_{j=1}^3 \left(\frac{\sum_{i=1}^5 F_{ji} X_i}{\sum_{i=1}^5 C_i X_i} \right) \\ & + \sum_{j=1}^2 \left(\frac{\sum_{i=1}^5 S_{ji} X_i}{\sum_{i=1}^5 C_i X_i} \right) \\ & + \sum_{j=1}^7 \left(\frac{\sum_{i=1}^5 W_{ji} X_i}{\sum_{i=1}^5 C_i X_i} \right) \end{aligned} \quad [8]$$

در رابطه فوق:

$$Q = \text{تابع هدف برنامه‌ریزی کسری}$$

$$X_i = \text{نوع فعالیت یا محصول آم}$$

$$F_{ji} = \text{میزان کود شیمیایی لازم مصرف شده برای هر}$$

هکتار محصول آم به واحد کیلوگرم

عنوان جامعه آماری در نظر گرفته شد که در حدود 3760 نفر بهره بردار زراعی بود. سپس تعداد نمونه با توجه به معیار واریانس سطح زیر کشت از طریق رابطه کوکران به میزان 288 بهره‌بردار محاسبه شد. اطلاعات مورد نیاز که به صورت مصاحبه حضوری و از طریق تکمیل پرسشنامه‌ها جمع آوری شدند شامل عملکرد در واحد سطح محصولات زراعی، قیمت محصول، میزان مصرف نهاده‌ها در واحد سطح و قیمت‌های مربوط به نهاده‌های مصرفی و برخی ویژگی‌های بهره‌برداران جامعه مورد مطالعه می‌باشند.

نتایج و بحث

در این قسمت نتایج الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه گزارش شده و با الگوی کشت فعلی منطقه مقایسه خواهند شد. اما قبل از حل مدل نیاز به محاسبه ضرایب تابع هدف که شامل میانگین مصرف کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، آب و درآمد ناخالص و همچنین ضرایب توابع محدودیت‌ها که شامل ضرایب تکنیکی مربوط به سطح زیر کشت، آب، نیروی کار، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و ماشین آلات می‌باشد که از اطلاعات پرسشنامه‌ها استخراج شدند. جداول 1 و 2 به ترتیب نشان‌دهنده ماتریس ضرایب تابع هدف و ماتریس ضرایب فنی محدودیت‌هاست که منطبق بر مساله برنامه‌ریزی کسری خطی چند هدفه (MLFP) است. این ضرایب از اطلاعات پرسشنامه‌ها محاسبه شده‌اند.

میزان مصرف آب در ماه‌های گرم سال می‌باشند، به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند.

[9] = شاخص پایداری نسبت به نهاده کود شیمیایی / سطح زیر کشت / میزان مصرف کود شیمیایی

[10] = شاخص پایداری نسبت به نهاده سم شیمیایی / سطح زیر کشت / میزان مصرف سم شیمیایی

[11] = شاخص پایداری نسبت به نهاده آب / سطح زیر کشت / میزان مصرف آب

ارقام کوچکتر این شاخص‌ها مبین پایداری بیشتر است. به عبارت دیگر هرچه نسبت مصرف نهاده‌های فوق در یک دوره زمانی کاهش یابد، بهره‌برداران در جهت پایداری عمل می‌کنند و یا سیاست‌های دولت نظام تولید را به سمت پایداری هدایت می‌کند.

داده‌ها

در این تحقیق قسمتی از داده‌ها به روش کتابخانه‌ای و از آمارنامه‌های سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی، سازمان آب منطقه‌ای مراغه و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان مراغه و بناب بدست آمده و قسمت دیگر به روش میدانی و با تکمیل پرسشنامه از کشاورزان منطقه مورد مطالعه در سال زراعی 90-1389 حاصل شد. به منظور نمونه‌گیری تعداد بهره‌برداران 26 روستای دشت مراغه - بناب به

جدول 1- ماتریس ضرایب تابع هدف الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه برای منطقه مورد مطالعه

ضرایب تابع هدف					هدف	شاخص
پیاز (x5)	ذرت (x4)	یونجه (x3)	جو (x2)	گندم (x1)		
۳۸۴۶۱۳	۱۵۴۵۰۰	۳۷۸۰۰۰	۱۳۶۲۳۴	۳۰۵۰۰۰	max	درآمد ناخالص (ریال)
۶۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	min	کودهای فسفات (کیلوگرم)
۳۰۰	۲۵۰	۱۵۰	۱۲۰	۲۰۰	min	کود ازته (کیلوگرم)
۱۰۰	۵۰	۱۰۰	۰	۰	min	کود پتاسه (کیلوگرم)
۵	۱	۲	۲	۳	min	سم علف‌کش (لیتر)
۶	۲	۳	۰	۰	min	سموم حشره‌کش و قارچ‌کش (لیتر)
۰	۰	۱۰۰۰	۹۰۰	۱۱۳۰	min	آب فروردین (مترمکعب)
۱۰۷۶	۱۶۰۰	۱۵۱۰	۹۷۰	۱۲۶۰	min	آب اردیبهشت (مترمکعب)
۳۴۳۳	۲۴۰۰	۱۵۱۰	۰	۰	min	آب خرداد (مترمکعب)
۴۳۷۰	۱۷۰۰	۱۵۱۰	۰	۰	min	آب تیر (مترمکعب)
۳۵۰۹	۰	۱۵۱۰	۰	۰	min	آب مرداد (مترمکعب)
۸۹۳	۰	۱۴۶۰	۰	۰	min	آب شهریور (مترمکعب)
۰	۰	۰	۹۴۵	۹۶۰	min	آب آبان (مترمکعب)

جدول 2- ماتریس ضرایب فنی محدودیت‌ها

ضرایب فنی					جهت نامساوی	مقادیر سمت راست	محدودیت‌ها
1	1	1	1	1			
1	1	1	1	1	=<	2801/58	سطح زیر کشت
0	0	1000	900	1130	=<	2767000	آب فروردین (مترمکعب)
1076	1600	1510	970	1260	=<	2985000	آب اردیبهشت (مترمکعب)
3433	2400	1510	0	0	=<	3050000	آب خرداد (مترمکعب)
4370	1700	1510	0	0	=<	2880000	آب تیر (مترمکعب)
3509	0	1510	0	0	=<	2780000	آب مرداد (مترمکعب)
893	0	1460	0	0	=<	2880000	آب شهریور (مترمکعب)
0	0	0	945	960	=<	2767000	آب آبان (مترمکعب)
7	0	5	2	2	=<	28500	نیروی کار فروردین (نفرروز)
5	7	3	2	2	=<	28500	نیروی کار اردیبهشت (نفرروز)
5	5	6	3	2	=<	31120	نیروی کار خرداد (نفرروز)
5	5	3	3	5	=<	32000	نیروی کار تیر (نفرروز)
5	6	6	0	0	=<	32000	نیروی کار مرداد (نفرروز)
0	7	4	0	0	=<	33170	نیروی کار شهریور (نفرروز)
7	0	3	1	1	=<	33170	نیروی کار مهر (نفرروز)
0	0	0	4	6	=<	30000	نیروی کار آبان (نفرروز)
600	150	200	200	200	=<	3134000	کود فسفات (کیلوگرم)
300	250	150	120	200	=<	7694500	کود ازته (کیلوگرم)
100	50	100	0	0	=<	468000	کود پتاسه (کیلوگرم)
5	1	2	2	3	=<	35300	سم علف‌کش (لیتر)
6	2	3	0	0	=<	56900	سموم حشره‌کش و قارچ‌کش (لیتر)
0	0	0	8	10	=<	12420	کمباین (ساعت)
0	0	0	3	4	=<	13500	خرمنکوب (ساعت)
0	0	0	8	9	=<	35000	تراکتور پاییز (ساعت)
15	0	8	0	0	=<	35000	تراکتور بهار (ساعت)

ستاده هر محدودیت، میزان مصرف آن منبع را برای هر هکتار از محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهد و مقدار سمت راست نیز میزان موجودی آن منبع را نشان می‌دهد. با استفاده از مقادیر جداول 1 و 2 الگوی برنامه-ریزی کسری با اهداف چندگانه حل شد که نتایج آن در جدول 3 گزارش شده است. در جدول 3 علاوه بر الگوی کشت حاصل از الگوی برنامه‌ریزی کسری الگوی کشت فعلی منطقه نیز گزارش و با هم‌دیگر مقایسه شده است.

در جدول 1 درآمد ناخالص هر یک از محصولات از تفاضل بین درآمد حاصل از فروش محصولات کشت شده مورد مطالعه و هزینه‌های متغیر در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت، بدست آمده است. میانگین درآمد ناخالص برای هر یک از محصولات در سطح منطقه به عنوان ضرایب در نظر گرفته شده است. جدول 2 نیز ضرایب داده-ستاده و مقدار سمت راست را برای هر یک از محدودیت‌ها نشان می‌دهد. ضرایب داده-

جدول 3- نتایج الگوی برنامه‌ریزی کسری و الگوی کشت فعلی در منطقه مورد مطالعه (واحد: هکتار)

الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه	الگوی فعلی	محصول
1101/31	1257/78	گندم
175/86	949/58	جو
116/53	416/17	یونجه
3/39	26/05	ذرت علوفه‌ای
18/24	152	پیاز
1415/33	2801/58	مجموع سطح زیر کشت
5114268390	7326339900	درآمد ناخالص (ریال)

سطح زیر کشت در الگوی فعلی و مدل برنامه‌ریزی کسری به گندم و کمترین سطح زیر کشت به ذرت علوفه‌ای تخصیص یافته است. با اجرای الگوی برنامه-ریزی کسری میزان درآمد ناخالص به 5114268390 ریال می‌رسد که نسبت به حالت فعلی کاهش را نشان می‌دهد. این وضعیت حاکی از آن است که برای رسیدن به برخی از اهداف کشاورزی پایدار در منطقه مورد مطالعه بایستی از 2212071510 ریال درآمد ناخالص صرف‌نظر شود. جدول 4 نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های پایداری در الگوهای کشت فعلی و برنامه-ریزی کسری در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

همانطور که از جدول 3 پیداست سطح زیر کشت گندم در مدل برنامه‌ریزی کسری در مقایسه با الگوی فعلی 156/47 هکتار کاهش یافته و به 1101/31 هکتار رسیده است. سطح زیر کشت چهار محصول جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای و پیاز کاهش چشمگیری داشته و به ترتیب به 175/86، 116/53، 3/39 و 18/24 هکتار تقلیل پیدا کرده اند. این مقادیر در واقع حداقل سطح زیر کشت‌هایی است که در تناوب محصولات زراعی منطقه در نظر گرفته شده‌اند. یعنی از نقطه نظر پایداری بایستی عمدتاً گندم در منطقه تولید شود و تولید سایر محصولات زراعی در حداقل خود خواهند بود. بیشترین

جدول 4- نتایج محاسبه شاخص‌های پایداری در الگوی کشت فعلی و الگوی برنامه‌ریزی کسری

شاخص‌های پایداری	الگوی کشت فعلی	الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه
کود فسفات (کیلوگرم در هکتار)	221/23	205/04
کود ازته (کیلوگرم در هکتار)	190/8	181/77
کود پتاسه (کیلوگرم در هکتار)	20/74	9/64
سم علف‌کش (لیتر در هکتار)	3/5	2/81
سموم حشره‌کش و قارچ‌کش (لیتر در هکتار)	0/78	0/32
آب در خرداد ماه (مترمکعب در هکتار)	432/88	373/78
آب در تیر ماه (مترمکعب در هکتار)	477/2	382/53
آب در مرداد ماه (مترمکعب در هکتار)	414/68	369/72
آب در شهریور ماه (مترمکعب در هکتار)	350/47	330/08

می‌رسد و به همین ترتیب میزان مصرف آب در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور نیز از الگوی فعلی که 477/2، 414/68 و 350/47 متر مکعب برای هر هکتار می‌باشد به ترتیب به 382/53، 369/72 و 330/08 متر مکعب در هکتار کاهش می‌یابد. این صرفه‌جویی موجب می‌شود که در این ماه‌ها که جزو ماه‌های کم آب محسوب می‌ود از فشار بی‌رویه روی منابع آبی کاسته شود. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان داشت که، الگوی کشت ارائه شده بر مبنای برنامه‌ریزی کسری با الگوی فعلی منطقه اختلاف دارد. این تفاوت مبین موثر بودن شروط پایداری لحاظ شده در الگوی برنامه‌ریزی کسری است. به عبارت دیگر می‌توان گفت که زارعین منطقه مورد مطالعه در تدوین الگوی کشت فعلی خود به ویژگی‌های زیست‌محیطی و پایداری منطقه چندان توجهی ندارند، در حالی‌که با استفاده از برنامه‌ریزی کسری می‌توان با معرفی شاخص‌های پایداری، الگوی کشتی را تدوین کرد که ضمن ممکن ساختن کسب سود لازم، استفاده از حداقل نهاده‌های کودها، سموم شیمیایی و همچنین آب را میسر سازد. با محاسبه شاخص‌های پایداری مشخص شد که مصرف سموم و کودهای شیمیایی در

همانطور که از جدول 4 ملاحظه می‌شود شاخص‌های پایداری مربوط به میزان مصرف کودها و سموم شیمیایی و همچنین میزان مصرف آب در ماه‌های گرم سال در الگوی برنامه‌ریزی کسری کمتر از الگوی کشت فعلی منطقه است. به عنوان نمونه میزان مصرف کود ازته در الگوی کشت فعلی برابر 190/8 کیلوگرم در هر هکتار می‌باشد و لیکن با در نظر گرفتن الگوی برنامه‌ریزی کسری این میزان مصرف به 181/77 کیلوگرم در هکتار کاهش پیدا می‌کند. با تغییر الگوی کشت فعلی منطقه به الگوی برنامه‌ریزی کسری، از بین نهاده‌های شیمیایی، میزان مصرف کود فسفات به بیشترین تغییر و میزان مصرف سموم حشره‌کش و قارچ‌کش کمترین تغییر را خواهند داشت. در مورد مصرف آب در ماه‌های گرم سال نیز ملاحظه می‌شود که میزان مصرف آب در الگوی برنامه‌ریزی کسری کمتر از الگوی کشت فعلی منطقه است. مثلاً متوسط میزان مصرف آب در خرداد ماه در الگوی کشت فعلی منطقه برابر 432/88 مترمکعب در هکتار می‌باشد. ولی با اجرای الگوی برنامه‌ریزی کسری میزان مصرف آب در این ماه کاهش یافته و به 373/78 مترمکعب در هکتار

الگوی برنامه‌ریزی کسری میزان مصرف کودها و سموم شیمیایی نسبت به الگوی کشت فعلی کاهش می‌یابد و در نتیجه باعث کاهش تولید می‌شود بایستی با اقداماتی همچون در نظر گرفتن یارانه برای نهاده‌هایی از قبیل کودهای سبز و بذرها اصلاح شده، شناسایی و رواج روش‌های مبارزه کارتر و ارزانتر بیولوژیک و بکارگیری فنون کشاورزی علمی و پیشرفته و استفاده از تناوب‌های پایدار در میان مدت و بلند مدت کاهش تولید ناشی از کاهش مصرف کودها و سموم شیمیایی جبران شود.

توصیه می‌شود در کوتاه مدت به منظور پیشگیری و کاهش خسارات حاصل از مصرف مواد شیمیایی بر محیط زیست و به منظور افزایش انگیزه، کمک‌هایی را به منظور تشویق برای کشاورزانی که اصول کشاورزی پایدار را رعایت می‌کنند و از نهاده‌های زیان‌آور استفاده کمتری می‌کنند، در نظر گرفته شود. به نظر می‌رسد چنین سیاست‌هایی به نفع جامعه و دولت خواهد بود چرا که در این حالت هم آسیب و ضرر کمتری به محیط زیست وارد می‌شود و هزینه‌های تخریب و بازسازی به مراتب کاهش می‌یابد و هم قسمتی از کاهش درآمد کشاورزان جبران می‌شود.

از آنجایی که شرایط اقلیمی و اقتصادی مناطق مختلف متفاوت است بنابراین ممکن است شاخص‌های پایداری هم در مناطق مختلف متفاوت باشد. بنابراین برای اخذ نتایج دقیق‌تر می‌بایستی استفاده از چنین الگوهای متناسب با شرایط و متغیرهای هر منطقه انجام گیرد.

الگوی برنامه‌ریزی کسری نسبت به الگوی فعلی مقادیر پایین‌تری را نشان می‌دهد اگرچه اجرای الگوی برنامه‌ریزی کسری درآمد ناخالص کمتری را بدست می‌دهد ولی در صورت اجرای این الگو برخی از اهداف پایداری بخصوص کاهش مصرف مواد شیمیایی مضر در منطقه رعایت شده و همچنین از لحاظ میزان مصرف آب بخصوص در ماه‌های گرم سال کمبودی وجود نخواهد داشت. نتایج مطالعات قبلی از جمله مطالعه کهنسال و فیروز زارع (1387) که به تعیین الگوی بهینه کشت استان خراسان شمالی با اهداف کشاورزی پایدار پرداختند نیز نشان می‌دهد که الگوی حاصل از برنامه‌ریزی کسری برای دستیابی به پایداری با الگوی کشت فعلی منطقه اختلاف چشمگیری دارد. همچنین نتایج مطالعه زمانی و همکاران (1389) که به تعیین الگوی زراعی در جهت کشاورزی پایدار برای شهرستان پیرانشهر پرداختند حاکی از آن است که الگوی بهینه کشت با استفاده از برنامه‌ریزی کسری با الگوی فعلی کشت اختلاف زیادی دارد.

پیشنهادها

با توجه به اینکه حرکت به سمت الگوی کشت پایدار در کوتاه مدت باعث کاهش بازده برنامه‌ای بهره‌برداران می‌شود، می‌توان با تمهیدات و اقدامات مناسبی مانند اعمال قیمت‌های متفاوت (قیمت‌های بیشتر برای محصولات که در تولید آن‌ها از سموم و کودهای شیمیایی کمتری استفاده شده است) بخشی از کاهش درآمد را جبران کرد. همچنین از آنجاییکه با اجرای

منابع مورد استفاده

امینی فسخودی ع. و نوری س.ه. 1390. ارزیابی پایداری و تعیین الگوی کشت سیستم‌های زراعی براساس 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. سال پانزدهم. شماره 55. صفحات 99 تا 109.

- بریم نژاد و. یزدانی س. 1383. تحلیل پایداری در مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی با استفاده از برنامه‌ریزی کسری، (مطالعه موردی استان کرمان). مجله پژوهش و سازندگی، شماره 63. صفحات 2 تا 16.
- حسین زاد ج. 1383. تعیین روش قیمت گذاری آب در بخش کشاورزی (مطالعه موردی سد و شبکه علویان)، رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران.
- زمانی ا. صبوحی م. و نادر ه. 1389. تعیین الگوی زراعی در جهت کشاورزی پایدار با استفاده از برنامه‌ریزی کسری فازی با اهداف چندگانه (مطالعه موردی: شهرستان پیرانشهر). مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار. شماره 4. صفحات 103 تا 112.
- کوچکی ع. 1376. کشاورزی و توسعه پایدار. مجموعه مقالات توسعه پایدار کشاورزی، فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه، شماره 4. صفحات 89 تا 96.
- کهنسال م و فیروز زارع ع. 1387. تعیین الگوی بهینه کشت همسو با کشاورزی پایدار با استفاده از برنامه‌ریزی فازی کسری با اهداف چندگانه، (مطالعه موردی استان خراسان شمالی). فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال شانزدهم، شماره 62، صفحه‌های 1 تا 31.
- منصوری ه. کهنسال م. 1384. تعیین الگوی کشت بهینه کشت زراعی براساس دو دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی. مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران. دانشگاه سیستان و بلوچستان. صفحات 12 تا 35.
- موسوی س.ن. و قرقانی ف. 1388. محاسبه شاخص‌های پایداری آب کشاورزی توسط مدل برنامه‌ریزی کسری (مطالعه موردی شهرستان مرودشت). فصلنامه اقتصاد کشاورزی، سال سوم، شماره 3. صفحات 143 تا 155.
- Castrodeza C., Lara P. and Pena T. 2005. Multicriteria fractional model for feed formulation: economic, nutritional and environmental criteria. *Agriculture Systems* 86: 76- 96.
- Charnes AW., Cooper W. and Rhodes E. 1978. Measures the efficiency of decision making units , *European Journal of Operational Research* 2:428-449.
- Daneshvar M. , Sahnoushi N. and Salehi Reza Abdi F. 2009. The determination of optimal crop pattern with aim of reduction in hazards of environmental, *American Journal of Agricultural and Biological Science* 4(4): 305-310.
- Dutta D., Rao J.R., Tiwari R.N., 1993. A restricted class of multiobjective linear fractional programming problems, *European Journal of Operational Research* 68(3): 352-355.
- Hansen JW. 1996. Is agricultural sustainability a useful concept?. *Agriculture Systems* 50(2): 117-14.
- Lara P. and Stancu-Minasian I. 1999. Fractional programming: a tool for the assessment of sustainability. *Agricultural Systems* 62:131-141.

- 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 Science*.111: 16–27.
- Romero C. and Rehman T. 1989. *Multiple criteria analysis for agricultural decisions*, Elsevier, Amsterdam.