

## بررسی پایداری منابع آب در شهرستان قوچان: رویکرد برنامه‌ریزی کسری

سعید عظیمی فرد<sup>1</sup>، محمدرضا زارع مهرجردی<sup>2\*</sup> و حسین مهربانی بشرآبادی<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 90/7/18 تاریخ پذیرش: 91/9/18

1- دانشجوی کارشناس ارشد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

2 و 3- استادیار و دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

\* مسئول مکاتبه E-mail: [zare@mail.uk.ac.ir](mailto:zare@mail.uk.ac.ir)

### چکیده

پایداری منابع آب مهم‌ترین سهم را در وجود و دوام سیستم‌های کشاورزی دارد و به میزان زیادی وابسته به الگوی کشت محصولات زراعی می‌باشد. یک برنامه جامع زراعی شامل جنبه‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی سیستم مزرعه می‌باشد. در این مقاله، برای تشخیص پایداری منابع آب و مشخص کردن سیستم زراعی بهینه از نسبت سودبه مصرف آب استفاده شده است و شاخص پایداری منابع آب برای شهرستان قوچان بدست آمده است. برای این هدف از روش برنامه‌ریزی کسری استفاده شده است و در نهایت با برنامه‌ریزی خطی مقایسه شده است. داده‌های مورد نیاز در این مطالعه از طریق تکمیل 480 پرسشنامه در سال زراعی 88-1387 استخراج گردید، همچنین از داده‌های پرسشنامه هزینه تولید در سال زراعی 88-1387 و داده‌های میانگین برآورد شده توسط جهاد کشاورزی شهرستان نیز استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از برنامه‌ریزی کسری میزان آب استفاده شده نسبت به برنامه‌ریزی خطی کمتر می‌باشد و از طرفی سود منطقه نیز به میزان 20076466560 ریال کاهش خواهد یافت. شاخص پایداری منطقه نیز برابر با 281/81 خواهد بود. بنا براین، باتوجه به این که حرکت به سمت الگوی کشت متناسب با استفاده پایدار از آب باعث کاهش سود بهره‌برداران می‌شود، حمایت بیشتر دولت از کشاورزان به کارگیرنده این الگو لازمی است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی کسری، پایداری منابع آب، شاخص پایداری، شهرستان قوچان

## Sustainability of Water Resources in Quchan County: Fractional Programming Approach

S Azimifard<sup>1</sup>, MR Zare Mehrjardi<sup>2\*</sup> and H Mehrabi Basharabadi<sup>3</sup>

Received: October 10, 2011 Accepted: December 8, 2012

<sup>1</sup>MSC Student, Dept of Agricultural Economics, University of SH Bahonar Kerman, Iran

<sup>2,3</sup>Assist Prof and Assoc Prof, Dept of Agricultural Economics, University of SH Bahonar Kerman, Iran

\*Corresponding Author: E-mail: [zare@mail.uk.ac.ir](mailto:zare@mail.uk.ac.ir)

### Abstract

Water resources sustainability has the main contribution to the existence and durability of the farming systems and strongly depends on the cropping pattern practices. A comprehensive cropping pattern planning takes in to account the high level of interrelation of the environmental, economic and social aspects of farming systems. In order to assess the sustainability of water resources and determine an optimal pattern of cropping in a rural farming system, this paper introduces one ratio of “net return/water consumption” and attempts to optimize it as the sustainability indicator. To this purpose, a fractional programming procedure is considered as the main approach of the study. The results show that the amount of water used is less than the linear programming by using a fractional programming, on the other hand, the region benefit will be reduced. Regional sustainability index is equal to 281.81. So, due to the movement toward cropping pattern to suit sustainable use of water reduces profits, governmental support of farmers using this model is necessary.

**Keywords:** Fractional Programming, sustainability index, Sustainability of Water Resources, Quchan County

### مقدمه

بررسی شده است (اوتتا و همکاران 1991، ماینودین و همکاران 1997، راجو و کومار 1999، هاواری و آرایز 2001، سستی و همکاران 2002، بنلی و کودال 2003، تیساکیریس و اسپیلوتیس 2006، سستی و همکاران 2006، ساهو و همکاران 2006، لیو و همکاران 2009، کیلیچ و آناک 2010 و منتظر و همکاران 2010). همچنین این عقیده وجود دارد که با برنامه ریزی صحیح مدیریت منابع آب بیش از 50 درصد آب

کمبود آب یک مسئله جهانی است، این مشکل زمانی حادث می شود که تقاضای آب در نتیجه رشد جمعیت، افزایش استانداردهای زندگی و همچنین تغییرات جوی افزایش پیدا کند. تنها راه ممکن برای حل این مسئله استفاده کارا تر از آب کشاورزی و افزایش بهره‌وری این منابع محدود می باشد. اخیراً، افزایش کارایی آبیاری و بهره‌وری آب در چندین مطالعه

مقایسه و بررسی می‌کند. به دلیل اهمیت میزان آب مصرفی کشاورزی، شاخص‌های پایداری نسبت درآمد ناخالص به استفاده از آب (3/06 و 0/53) و نسبت اشتغال به استفاده از آب (0/265 و 0/072) در دو سناریو در سال زراعی (86-1385) شهرستان مرودشت به دست آمد.

عمانی (1389) در مطالعه‌ای عوامل موثر بر دانش پایداری آب زراعی در بین گندم‌کاران شهرستان اهواز را بررسی کرد. این تحقیق از نوع تحقیقات کاربردی و به روش توصیفی از نوع همبستگی بوده و از تکنیک‌های تحلیل مسیر و عاملی در تعیین عوامل موثر بر سطح دانش پایداری آب زراعی استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل عاملی مشخص شد که شش عامل ویژگی‌های اقتصادی، استفاده از کانال‌های ارتباطی، متغیرهای فعالیت‌های آموزشی و ترویجی، فعالیت‌های اجتماعی، دانش و اطلاعات، و حمایت‌های دولت در مجموع 69 درصد تغییرات سطح دانش فنی گندم‌کاران را تبیین می‌نماید.

زمانی و همکاران (1389) در مطالعه‌ای الگوی بهینه کشت شهرستان پیرانشهر در استان آذربایجان غربی را با استفاده از برنامه‌ریزی کسری چندمعیاره فازی بر اساس داده‌های مقطعی سال زراعی 1386-1387 با اهداف کشاورزی پایدار تعیین کردند. نتایج نشان داد که الگوی بهینه کشت با استفاده از برنامه‌ریزی کسری چندمعیاره فازی برای دست‌یابی به پایداری با الگوی فعلی کشت اختلاف زیادی دارد. افزون بر این نتایج حاصل از شاخص‌های پایداری (نسبت درآمد ناخالص به استفاده از کودهای شیمیایی و سموم مختلف) نشان از اهمیت هدف و یا حداقل کردن این نهاد در جهت پایداری داشت.

هو، مویوو و همکاران (2010) در دشت شمالی چین که یکی از نواحی بسیار مهم تولیدات کشاورزی در چین می‌باشد، به بررسی روش‌هایی برای صرفه‌جویی آب کشاورزی و مدیریت پایدار آب‌های زیرزمینی در محدوده آبیاری شی‌جی‌ژوانگ پرداختند. برای مشخص کردن نظریه کمبود آب، یک روش مدیریت منابع آب

موجود صرفه‌جویی خواهد شد (شانگون و همکاران 2002). اما، برای پیدا کردن الگوی کشت و مدیریت منابع آب مناسب بایستی معیارهای کشاورزی، محیطی و اجتماعی-اقتصادی در نظر گرفته شود. این معیارها عموماً ناسازگار و متناقض هستند، به عنوان مثال، حداکثر سود خالص مزرعه نیازمند استفاده بیشتر از منابع آب می‌باشد، در حالی‌که پایداری سیستم مستلزم کاهش مصرف آب است.

بریم نژاد و یزدانی (1383) در مطالعه‌ای شاخص‌هایی برای پایداری در بخش کشاورزی استان کرمان در آلترناتیوها و سیاست‌های مختلف به دست آورده‌اند. در آن مطالعه کرمان از نظر آب و هوایی به سه ناحیه تقسیم شده است و شاخص پایداری برای این سه ناحیه و در دو راندمان 35 و 75 درصد محاسبه شده است. به عنوان نمونه، در ناحیه اول بدون هیچ‌گونه اعمال سیاست در راندمان 35 درصد شاخص پایداری برابر 15 می‌باشد و در راندمان 75 درصد این عدد به 32/2 می‌رسد. سپس این شاخص با توجه به اعمال سیاست‌های مختلف تغییر کرده و محاسبه شده است.

بریم نژاد و صدر الاشرافی (1384) در مطالعه‌ای دیگر، روش جدیدی را نشان می‌دهند که از معیار کمی پایداری در یک مدل بهینه‌یابی استفاده می‌کند. سپس این مدل را به صورت موردی برای شهرستان کرمان آزمون می‌نمایند و در آخر شاخص‌هایی برای توسعه پایدار محاسبه می‌کنند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که با ادامه روند فعلی استفاده از آب در کشور و همچنین با ادامه شیوه مدیریت فعلی در امر آب در کشور در آینده‌ای نه چندان دور شاهد افزایش درصد نواحی تحت تنش آبی در کشور خواهیم بود.

موسوی و قرقانی (1388) در مطالعه‌ای شاخص‌های پایداری آب کشاورزی شهرستان مرودشت را محاسبه کردند. روش به کار رفته در مورد مسایل مربوط به پایداری سیستم‌های کشاورزی، برنامه‌ریزی غیرخطی با مدل برنامه‌ریزی کسری چند هدفی است که شاخص‌های مختلف را با فرض وزن‌های مساوی،

برنامه‌ریزی کسری عمومی‌ترین روش در برنامه‌ریزی ریاضی و ادبیات تحقیق در عملیات می‌باشد. این برنامه ریزی شامل مدل‌هایی است که اهداف آن‌ها خارج قسمت دو تابع می‌باشند. سناریوهای که می‌توان برنامه‌ریزی کسری را به کار برد دقیقاً همان سناریوهای هستند که برنامه‌ریزی خطی و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاری  $MCDM^1$  مانند برنامه‌ریزی هدف چندگانه  $MOP^2$  و برنامه‌ریزی هدف در مورد آن‌ها با موفقیت استفاده می‌شوند. این سناریوها بیشتر مربوط به مباحث طرح‌ریزی کشاورزی - اکوسیستم و مدیریت منابع می‌باشد.

برای مدل سازی پایداری در مدیریت منابع آب، در ابتدا لازم است که ارتباط بین استفاده از آب و پیامد های آن را تعریف نمود و میزان آب موجود و تقاضا برای آن را از بین احتیاجات حال و آینده ترکیب کرد.

برای توضیح ساختار برنامه‌ریزی کسری اگر  $x$  بردار متغیرهای تصمیم باشد که معمولاً در برنامه ریزی ریاضی کاربرد دارد و  $X$  مجموعه جواب‌های ممکن برای حل مسئله باشد، ساختار ریاضی یک برنامه ریزی کسری به صورت زیر خواهد بود: (11)

$$\begin{aligned} \text{maximiser}(x) &= \frac{n(x)}{d(x)} & (1) \\ \text{s.t} \quad x &\in X, \quad x \geq 0 \end{aligned}$$

فرض کنیم که  $d(x)$  در  $X$  مثبت باشد در این حالت وقتی که مجموعه  $X$  یک چند وجهی غیر تهی باشد و به زیر مجموعه  $R^n$  محدود گردد می‌توان آن را به عنوان یک قید خطی در نظر گرفت. در این حالت مسئله به صورت زیر در می‌آید:

$$\begin{aligned} \text{maxmiser}(x) &= \frac{n(x)}{d(x)} i & (2) \\ \text{s.t} \quad A(x) &\leq C, \quad x \\ &\geq 0 \end{aligned}$$

که  $A$  ماتریس واقعی  $m \times n$  می باشد و  $C \in R_m$  می‌باشد.

پایدار و انعطاف‌پذیر پیشنهاد شده است. نتایج مدل نشان داد که 29/2 درصد یا 15/7 میلی‌متر کاهش در آبیاری می‌تواند تخلیه آب‌های زیر زمینی را در دشت متوقف کند. به علاوه 10 درصد کاهش در پمپاژ آب برای آبیاری (در کل 39/2 درصد یا 182/1 میلی‌متر) بازیابی آب‌های زیر زمینی را تحریک خواهد کرد. نحوه آبیاری فعلی کشاورزان ناکاراست و منابع محدود آب را به هدر می‌دهد. بنابراین در طرح‌های مناسب آبیاری، کاهش عملکرد دانه در نتیجه صرفه‌جویی 39/2 درصد آب کشاورزی کمتر از 10 درصد خواهد بود.

در شهرستان قوچان 59 درصد آب کشاورزی به دلیل آبیاری‌های نادرست، سنتی و استفاده نکردن از روش‌های آبیاری نوین هدر می‌رود. سالانه حدود 238 میلیون متر مکعب آب از منابع زیر زمینی شهرستان قوچان برای بخش کشاورزی استحصال می‌شود. خشکسالی‌های چند سال گذشته باعث کاهش و افت متوسط سطح آب منابع زیر زمینی شهرستان تا 90 سانتی متر شده است که ضرورت توجه کشاورزان به نحوه بهره برداری درست از این منابع را بیش از پیش می‌طلبد. راندمان آبیاری در شهرستان حدود 41 درصد است و بقیه آن هدر می‌رود که در صورت استفاده کشاورزان و باغداران از روش‌های نوین آبیاری این میزان تا 80 درصد افزایش خواهد یافت که تولید و درآمد بیشتری را برای کشاورزان در بر دارد. (زمانی و همکاران، 1389 و جهاد کشاورزی قوچان، 1387)

در این مطالعه فرضیه تحقیق این است که از منابع آب در بخش کشاورزی به صورت پایدار استفاده نمی‌گردد و اهداف تحقیق عبارت از محاسبه شاخص پایداری منابع آب در بخش کشاورزی شهرستان قوچان و تعیین میزان مصرف بهینه آب از دید پایداری است.

## مواد و روش‌ها

کاربرد برنامه ریزی ریاضی برای مدل سازی پایداری

<sup>1</sup>-Multi Criteria Decision Making

<sup>2</sup>- Multiple Objective Programming

است. روش نمونه‌گیری تصادفی با طبقه‌بندی است. از آنجایی که طرح آمارگیری از 20 روستای شهرستان قوچان دارای هزینه‌های بسیاری می‌باشد، لذا اعمال هزینه‌ها در روش نمونه‌گیری می‌تواند موثر باشد. اگر هزینه رفت و آمد به روستاهای شهرستان قوچان و هزینه‌های اداری و غیره را  $C_0$  فرض شود، هزینه‌ی کل نمونه‌گیری با رابطه 4 بیان می‌شود:

$$C = C_0 + \sum_{h=1}^L C_h n_h \quad (4)$$

با توجه به این هزینه، می‌توان مقدار نمونه مورد نیاز با توجه به حجم جامعه را به صورت رابطه 5 محاسبه کرد:

$$n_h = \frac{N_h S_h / \sqrt{C_h}}{\sum \left( N_h S_h / \sqrt{C_h} \right)} \cdot n \quad (5)$$

$N_h$  تعداد کل واحدها در طبقه  $h$  ام (این تعداد شامل تعداد کشاورزان زیر مجموعه هر کدام از مرکز خدمات‌ها)

$n_h$  تعداد نمونه در هر طبقه (تعداد نمونه لازم در هر مرکز خدمات)

$S_h$  تغییرات طبقه  $h$  ام (واریانس درآمدی برای یک نمونه اولیه از هر مرکز خدمات)

$C_h$  کل هزینه نمونه‌گیری (شامل هزینه‌ی اقامت، رفت و آمد، هزینه‌های معیشتی و ...) می‌باشد.

$n$  تعداد کل جامعه (تعداد کل کشاورزان شهرستان قوچان)

در مطالعه حاضر، از میان روستاهای شهرستان قوچان، 20 روستا شناسایی شد. سپس، اقدام به تکمیل 30 پرسشنامه مقدماتی در جامعه‌ی کشاورزان شهرستان قوچان نموده و پس از دسته‌بندی اطلاعات، از روی این نمونه مقدماتی تعداد نمونه اصلی تخمین زده شد.

با استفاده از رابطه 5، تعداد نمونه برای هر یک از 9 طبقه محاسبه شده و سپس با هم جمع شده است.

اگر  $n$  و  $d$  در معادله (1) را به عنوان توابع (خطی به علاوه ثابت) تعریف کرد و  $x$  را یک چند ضلعی محدب به عنوان فرمول استاندارد LP معرفی نمود یک برنامه‌ریزی کسری به دست خواهد آمد.

$$\text{maximize: } r(x) = \frac{a^t x + \alpha}{b^t x + \beta} \quad (3)$$

$$s. t \quad A(x) \leq Cx > 0$$

که  $\alpha, \beta \in R$  و  $C \in R^m$  و  $b \in R^n$

تابع هدف (نسبت) عموماً یک تابع مقعر نمی‌باشد. تقعر خاصیتی است که اجازه می‌دهد تا یک تابع تحت مجموعه‌های محدب به حداکثر برسد. در هر حال نسبت‌ها توابع شبه مقعرند. از مزایای مهم این توابع این است که تابع شبه مقعر خاصیتی دارد که به یافتن بهینه مقعر کمک می‌نماید. در این میان سه ماکزیم وجود دارد: 1- ماکزیم موضعی<sup>1</sup> که اغلب یک ماکزیم عمومی می‌باشد. 2- یک ماکزیم منحصر به فرد که اگر صورت کسر  $n(x)$  اکیداً مقعر باشد یا مخرج کسر اکیدا محدب باشد، به دست می‌آید. 3- یک ماکزیم برای برنامه‌ریزی کسری خطی که در نقطه اکستریم چند ضلعی محدب  $x$  پیدا می‌شود.

این دو خصوصیت آخر این امکان را فراهم می‌کند که روش‌های سیمپلکس را برای مساله برنامه‌ریزی کسری خطی (LFP) به کار برد. روش‌های زیادی برای حل LFP وجود دارد. می‌توان این مدل را ساده کرد و با استفاده از بسته‌های نرم افزاری استاندارد حل کرد. در این مطالعه از نرم افزار WinQSB استفاده شده است.

جامعه آماری این مطالعه، کشاورزان شهرستان قوچان می‌باشد. براساس اطلاعات به دست آمده از شهرستان، بیشترین محصولات که در الگوی بهینه کشت منطقه وجود دارند، گندم، جو، سیب زمینی، گوجه فرنگی، ذرت، پیاز، لوبیا قرمز، آفتابگردان و چغندر قند می‌باشد. با بررسی‌های انجام شده بر اساس اطلاعات مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان قوچان 20 روستا، که زیر نظر 9 مرکز خدمات می‌باشند، انتخاب شده

<sup>1</sup>- Local Maximum

$$Max Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j + \sum_{i=n+1}^m b_i X_i \quad (6)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j - b_i \leq 0 \quad i=1,2,3,\dots,m$$

$$X_j = a_j$$

هدف اصلی برنامه‌ریزی کالیبره به دست آوردن مقادیر سمت راست برای محدودیت‌ها می‌باشد.

سپس بر اساس این مقادیر مدل برنامه‌ریزی خطی و کسری با توجه به هشت تناوب وارد شده در تابع هدف مدل حل خواهد شد.

تعیین تناوب‌های مدل بر اساس الگوی کشت منطقه به دو صورت می‌توان تناوب زراعی ایستا را وارد برنامه کرد:

1- فعالیت را به صورت فعالیت تناوب در نظر می‌گیریم، که فعالیت تناوب به دو صورت است، یا سال‌های تناوب (نهاده را به صورت سال‌های تناوب در نظر می‌گیریم) یا تقسیم هکتار (مزرعه را تقسیم می‌کنیم و مکان محصولات را در هر سال تغییر می‌دهیم).

2- تناوب زراعی را روی محدودیت‌ها اعمال کنیم، که در این صورت تابع هدف هیچ گونه تغییری نخواهد کرد.

در این مطالعه از روش اول به صورت تقسیم هکتار استفاده شده است. در واقع فعالیت به صورت تناوبی در نظر گرفته شده است و تابع هدف بر اساس تناوب‌ها تغییر پیدا کرده است.

با توجه به مشخصات جغرافیایی و آب و هوایی منطقه قوچان و همچنین در نظر گرفتن محصولات عمده شهرستان، تناوب‌های زیر برای منطقه در نظر گرفته شد:

بر این اساس تعداد کل نمونه 480 کشاورز برآورد گردید.

## نتایج

در جدول 1 محصولات وارد شده در مدل، علامت اختصاری آن‌ها در این مطالعه، میزان سطح زیر کشت در شهرستان و سود هر هکتار از محصول آورده شده است.

جدول 1- محصولات وارد شده در مدل.

محصول	علامت اختصاری	سطح زیر کشت (هکتار)	سود هر هکتار
گندم		7400	1214900
جو		2900	1835000
سیب زمینی		1040	4583800
پیاز		52	2465610
گوجه		450	481000
فرنکی			
آفتابگردان		100	494550
لوبیا قرمز		25	870080
کلزا		42	74500
چغندر قند		450	301716

ابتدا برای به دست آوردن مقادیر سمت راست مدل برنامه‌ریزی کالیبره بر اساس 9 محصول وارد شده در مدل حل می‌شود، مدل کالیبره از جمله مدل‌های برنامه‌ریزی خطی است که با توجه به شرایط کشت موجود منطقه، صورت گرفته و متغیرهای تصمیم‌گیری عیناً معادل سطح کشت فعلی وارد مدل می‌شوند. برای این منظور، به تعداد محدودیت‌های موجود در برنامه، فعالیت به تابع هدف اضافه می‌شود و مقادیر سمت راست، به صورت یک مجهول به سمت چپ محدودیت‌ها اضافه شده و طی انجام این نوع برنامه، مقادیر سمت راست صفر قرار داده می‌شود. پس از اعمال کلیه محدودیت‌ها، فعالیت‌های مورد بررسی برابر با سطح زیرکشت موجود در منطقه قرار داده می‌شوند.

$$550y_1 + 750y_2 + 500y_3 + 500y_4 + 750y_5 + 550y_6 + 700y_7 + 700y_8 - x_{25} \leq 2405850$$

4- محدودیت کود پتاس

$$350y_1 + 290y_2 + 50y_3 + 100y_4 + 300y_5 + 100y_6 + 300y_7 + 3900y_8 - x_{26} \leq 334800$$

5- محدودیت کود حیوانی

$$20000y_1 + 35000y_2 + 30000y_5 + 20000y_7 + 35000y_8 - x_{27} \leq 58070000$$

6- محدودیت سم حشره‌کش

$$9y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + 4y_5 + 6y_6 + 5y_7 + 10y_8 - x_{28} \leq 5924$$

7- محدودیت سم علف‌کش

$$7y_1 + 8y_2 + 7y_3 + 11y_4 + 8y_5 + 13y_6 + 8y_7 + 8y_8 - x_{29} \leq 33120$$

8- محدودیت سم قارچ‌کش

$$5y_1 + 6y_2 + y_3 + 5y_4 + 5y_5 + 6.5y_6 + 5y_7 + 6y_8 - x_{30} \leq 13847.5$$

9- محدودیت نیروی کار کاشت

$$18y_1 + 70y_2 + 17y_3 + 33y_4 + 23y_5 + 40y_6 + 24y_7 + 73y_8 - x_{31} \leq 86057$$

10- محدودیت نیروی کار داشت

$$60y_1 + 102.5y_2 + 48y_3 + 78.5y_4 + 83y_5 + 94.5y_6 + 76y_7 + 88y_8 - x_{32} \leq 261214$$

11- محدودیت نیروی کار برداشت

$$29y_1 + 67y_2 + 8y_3 + 38y_4 + 52y_5 + 53y_6 + 31y_7 + 66y_8 - x_{33} \leq 88033$$

12- محدودیت ماشین آلات

$$93y_1 + 114y_2 + 88y_3 + 100y_4 + 106y_5 + 116y_6 + 114y_7 + 103y_8 \leq 427340$$

13- محدودیت زمین

$$4y_1 + 4y_2 + 4y_3 + 4y_4 + 4y_5 + 4y_6 + 4y_7 + 4y_8 \leq 49838$$

14- محدودیت سرمایه

$$4805800y_1 + 7954433y_2 + 2474683y_3 + 3519317y_4 + 6369890y_5 + 4468737y_6 + 5990883y_7 + 7824800y_8 - x_{34} \leq 13116481280$$

جدول 2- تناوب‌های وارد شده در مدل.

تناوب	محصولات
گندم - سیب‌زمینی - کلزا - آیش	
سیب‌زمینی - گندم - جو - گوجه‌فرنگی	
گندم - آفتابگردان - جو - آیش	
گندم - جو - چغندر قند - آیش	
گندم - سیب‌زمینی - جو - پیاز	
گندم - لوبیا قرمز - جو - چغندر قند	
گندم - سیب‌زمینی - جو - آفتابگردان	
گندم - گوجه‌فرنگی - کلزا - سیب‌زمینی	

مدل برنامه‌ریزی خطی

در این بخش، مدل برنامه‌ریزی خطی با توجه به اعداد به دست آمده برای مقادیر سمت راست از برنامه‌ریزی کالیبره و بر اساس تناوب‌های وارد شده در مدل به صورت زیر خواهد بود:

تابع هدف

[4]

$$\begin{aligned} \max Z = & 5873200y_1 + 8114700y_2 \\ & + 5544400y_3 + 3351616y_4 \\ & + 10099310y_5 \\ & + 4221696y_6 + 8128400y_7 \\ & + 7708200y_8 - 5000x_{24} \\ & - 5500x_{25} - 5000x_{26} \\ & - 10x_{27} - 12000x_{28} \\ & - 5000x_{29} - 8000x_{30} \\ & - 10000x_{31} - 10000x_{32} \\ & - 10000x_{33} - 0.17x_{34} \end{aligned}$$

Subject to:

1- محدودیت آب

$$\begin{aligned} & 13741.48y_1 + 26678.75y_2 + 22617.05y_3 \\ & + 24617.52y_4 + 38679.62y_5 \\ & + 32617.52y_6 + 30678.95y_7 \\ & + 28743.35y_8 \\ & \leq 101292000 \end{aligned}$$

2- محدودیت کود اوره

$$\begin{aligned} & 800y_1 + 1300y_2 + 700y_3 + 800y_4 \\ & + 1000y_5 + 1000y_6 \\ & + 1000y_7 + 1350y_8 - x_{24} \\ & \leq 3292500 \end{aligned}$$

3- محدودیت کود فسفات

$$20000y_1 + 35000y_2 + 30000y_5 + 20000y_7 + 35000y_8 - x_{27} \leq 58070000$$

5- محدودیت سم حشره‌کش

$$9y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + 4y_5 + 6y_6 + 5y_7 + 10y_8 - x_{28} \leq 5924$$

6- محدودیت سم علف‌کش

$$7y_1 + 8y_2 + 7y_3 + 11y_4 + 8y_5 + 13y_6 + 8y_7 + 8y_8 - x_{29} \leq 33120$$

7- محدودیت سم قارچ‌کش

$$5y_1 + 6y_2 + y_3 + 5y_4 + 5y_5 + 6.5y_6 + 5y_7 + 6y_8 - x_{30} \leq 13847.5$$

8- محدودیت نیروی کار کاشت

$$18y_1 + 70y_2 + 17y_3 + 33y_4 + 23y_5 + 40y_6 + 24y_7 + 73y_8 - x_{31} \leq 86057$$

9- محدودیت نیروی کار داشت

$$60y_1 + 102.5y_2 + 48y_3 + 78.5y_4 + 83y_5 + 94.5y_6 + 76y_7 + 88y_8 - x_{32} \leq 261214$$

10- محدودیت نیروی کار برداشت

$$29y_1 + 67y_2 + 8y_3 + 38y_4 + 52y_5 + 53y_6 + 31y_7 + 66y_8 - x_{33} \leq 88033$$

11- محدودیت ماشین آلات

$$93y_1 + 114y_2 + 88y_3 + 100y_4 + 106y_5 + 116y_6 + 114y_7 + 103y_8 \leq 427340$$

12- محدودیت زمین

$$4y_1 + 4y_2 + 4y_3 + 4y_4 + 4y_5 + 4y_6 + 4y_7 + 4y_8 \leq 49838$$

13- محدودیت سرمایه

$$4805800y_1 + 7954433y_2 + 2474683y_3 + 3519317y_4 + 6369890y_5 + 4468737y_6 + 5990883y_7 + 7824800y_8 - x_{34} \leq 13116481280$$

### بحث

بر اساس نتایج به دست آمده از مدل برنامه‌ریزی خطی، از بین هشت تناوب وارد شده در مدل تنها تناوب‌های سوم (3191/326 هکتار) یعنی گندم- آفتابگردان- جو و آیش و پنجم (819/3172 هکتار) یعنی گندم- جو - سیب زمینی- پیاز به عنوان تناوب

در این مدل ضرایب تابع هدف بیانگر مجموع سود هر تناوب و ضرایب هر محدودیت نیز با توجه به تناوب مربوطه مشخص شده است. همچنین متغیرهای  $x_{24}$  تا  $x_{34}$  مربوط به فعالیت خرید نهاده می‌باشند.

استفاده از برنامه‌ریزی کسری برای محاسبه شاخص پایداری

با توجه به ساختار برنامه‌ریزی کسری، برای محاسبه شاخص پایداری که بنا بر تعریف میزان سود حاصل از مصرف یک واحد (متر مکعب) آب می‌باشد، عبارتست از:

$$\begin{aligned} \text{eff: } & 5873200y_1 + 8114700y_2 \\ & + 5544400y_3 + 3351616y_4 \\ & + 10099310y_5 \\ & + 4221696y_6 + 8128400y_7 \\ & + 7708200y_8 - 5000x_{24} \\ & - 5500x_{25} - 5000x_{26} \\ & - 10x_{27} - 12000x_{28} \\ & - 5000x_{29} - 8000x_{30} \\ & - 10000x_{31} - 10000x_{32} \\ & - 10000x_{33} \\ & - 0.17x_{34} / 13741.48y_1 \\ & + 26678.75y_2 + 22617.05y_3 \\ & + 24617.52y_4 + 38679.62y_5 \\ & + 32617.52y_6 + 30678.95y_7 \\ & + 28743.35y_8 \end{aligned}$$

Subject to:

1- محدودیت کود اوره

$$800y_1 + 1300y_2 + 700y_3 + 800y_4 + 1000y_5 + 1000y_6 + 1000y_7 + 1350y_8 - x_{24} \leq 3292500$$

2- محدودیت کود فسفات

$$550y_1 + 750y_2 + 500y_3 + 500y_4 + 750y_5 + 550y_6 + 700y_7 + 700y_8 - x_{25} \leq 2405850$$

3- محدودیت کود پتاس

$$350y_1 + 290y_2 + 50y_3 + 100y_4 + 300y_5 + 100y_6 + 300y_7 + 3900y_8 - x_{26} \leq 334800$$

4- محدودیت کود حیوانی



برنامه‌ریزی خطی پایین‌تر است، که دلیل این امر رویکرد استفاده حداقل در مصرف آب در برنامه‌ریزی کسری می‌باشد.

مقایسه کلی نتایج دو روش برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی کسری در جدول 3 آورده شده است. به این ترتیب با توجه به تعریف شاخص پایداری آب در این مطالعه، شاخص پایداری برابر با 281/81 خواهد بود. به بیانی دیگر، به ازای هر واحد استفاده از آب 281/81 واحد سود به دست خواهد آمد.

جدول 3-مقایسه نتایج دو روش برنامه‌ریزی خطی و کسری

برنامه‌ریزی خطی	برنامه‌ریزی کسری	
سوم-پنجم	پنجم	تناوب(های) انتخاب شده
101292000	89292000	آب مورد استفاده (متر مکعب)
4010/6432	2968/5	زمین مورد استفاده(هکتار)
271714800000	251638333440	سود حاصله(ریال)

با توجه به اینکه حرکت به سمت الگوی کشت متناسب با استفاده پایدار از آب باعث کاهش سود بهره- برداران می‌شود، حمایت بیشتر دولت از کشاورزان به کارگیرنده این الگو الزامی و گامی مؤثر برای حرکت به سمت کشاورزی پایدار تلقی می‌شود.

اصلی در منطقه انتخاب شده است و با وارد کردن سایر تناوب‌ها از سود منطقه کاسته خواهد شد. فعالیت خرید نهاده برای محدودیت‌های کود پتاس، کود حیوانی، سم حشره‌کش، نیروی کار برداشت و سرمایه صورت پذیرفته است که نشان‌دهنده کمبود این نهاده- های تولید در منطقه می‌باشد. که باعث به وجود آمدن قیمت سایه‌ای برای این نهاده‌ها شده است که به ترتیب برابر با 5000 ، 10، 12000، 10000 تومان و 0/17 درصد برآورد گردیده است. قیمت سایه‌ای آب نیز معادل 850/1194 ریال محاسبه شده است.

بر اساس برنامه‌ریزی خطی، میزان آب استفاده شده در منطقه معادل 101292000 متر مکعب و بیشترین سود منطقه معادل 271714800000 ریال محاسبه شده است. با حل مدل برنامه‌ریزی کسری جواب‌های متفاوتی نسبت به مدل برنامه‌ریزی خطی به دست می‌آید. در این مدل تنها تناوب پنجم به عنوان جواب در نظر گرفته می‌شود، و آفتابگردان از الگوی کشت منطقه حذف می‌شود، به طوری که 2968/5 هکتار از محصولات این تناوب به عنوان کشت منطقه انتخاب می‌شود. به عبارتی در مدل برنامه‌ریزی کسری از زمین کمتری نسبت به برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌شود. فعالیت خرید برای نهاده‌های کود پتاس، کود حیوانی، سم حشره‌کش، سم قارچ‌کش، نیروی کار برداشت و سرمایه صورت پذیرفته است. میزان حداکثر سود در روش برنامه‌ریزی کسری برابر با 251638333440 ریال می‌باشد که در مقایسه با برنامه‌ریزی خطی تا حدودی پایین‌تر است، و میزان آب مصرفی در این نوع برنامه‌ریزی برابر 89292000 متر مکعب است که این میزان نیز از آب مصرفی در مدل

#### منابع مورد استفاده

بریم نژاد و و صدراالشرافی س.م، 1384، مدل‌بندی پایداری در منابع آب با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند - معیاره، مجله علمی- پژوهشی علوم کشاورزی، سال یازدهم، شماره 4. صفحه های 28-14؟

بریم نژاد و 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 در زراعت و باغبانی، شماره 63، صفحه‌های 2-16.

زمانی ا، صبوحی صابونی م و نادر ه، 1389، تعیین الگوی زارعی در جهت کشاورزی پایدار، با استفاده از برنامه‌ریزی کسری فازی با اهداف چندگانه (مطالعه موردی: شهرستان پیرانشهر)، مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار، 20، شماره 4، جلد 2. صفحه‌های 103-115

سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی. 1387. سیمای اقتصادی و کشاورزی استان خراسان رضوی.

سازمان جهاد کشاورزی شهرستان قوچان، 1387. سیمای اقتصادی و کشاورزی شهرستان قوچان.

عمانی ا، 1389، شناسایی عوامل مؤثر بر دانش پایداری آب زراعی در بین گندم کاران شهرستان اهواز، مجله پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی، سال سوم، شماره 2، صفحه‌های 65-77.

موسوی س ن و قرقانی ف، 1388، محاسبه شاخص‌های پایداری آب کشاورزی توسط مدل برنامه ریزی کسری (مطالعه موردی شهرستان مرو دشت)، مجله اقتصاد کشاورزی، جلد 3، شماره 3، صفحه‌های 143-160.

Benli B and Kodal S, 2003. A non-linear model for farm optimization with adequate and limited water supplies application to the South-east Anatolian Project (GAP) Region. *Agricultural Water Management* 62:187–203.

Haouari M and Azaiez MN, 2001. Optimal cropping patterns under water deficits. *European Journal of Operational Research* 130:133–146

Hellegers, D, Zillberman and Van.Ierland E, 2001. Analysis dynamic of agricultural grand water extraction. *Ecological Economics*.12,52-69.?

Hu Y, Paul Moiwo J, Yang Y, Han Sh and Yang Y, 2010. Agricultural water-saving and sustainable groundwater management in Shijiazhuang Irrigation District, North China Plain. *Journal of Hydrology*,. 393: 219-232.

Kilic M and Anac S, 2010. Multi-objective planning model for large scale irrigation systems: method and application. *Water Resources Management*. doi:10.1007/s11269-010-9601-4

Lara P and Stancu-Minasian I, 1999. Fractional programming: a tool for the assessment of sustainability, *journal of Agricultural Systems*, 62 : 131-141.

Liu Y, Yu Y, Guo H and Yang P ,2009.Optimal land-use management for surface source water protection under uncertainty: a case study of Songhuaba watershed (Southwestern China). *Water Resources Management* 23:2069–2083

- MainuddinM, Gupta AD and Onta PR ,1997. Optimal crop planning model for an existing groundwater irrigation project in Thailand. *Agricultural Water Management* 33:43–62
- Montazar A, Riazi H and BehbahaniSM, 2010. Conjunctive water use planning in an irrigation command area. *Water Resources Management* 24:577–596
- Onta PR, Gupta AD and Paudyal GN, 1991. Integrated irrigation development planning by multiobjectives optimization. *International Journal of Water Resource Development* 7:185–193.
- Raju KS and Kumar DN,1999. Multicriterion decision making in irrigation planning. *Agricultural Systems* 62:117–129.
- Sahoo B, Lohani AK and SahuRK ,2006. Fuzzy multiobjective and linear programming based management models for optimal land–water–crop system planning. *Water Resources Management* 20:931–948
- Sethi LN, Panda SN and NayakMK ,2006. Optimal crop planning and water resources allocation in a coastal groundwater basin, Orissa, India. *Agricultural Water Management* 83:209–220
- Sethi LN, Kumar DN, Panda SN and Mal BC ,2002. Optimal crop planning and conjunctive use of waterresources in a coastal river basin. *Water Resources Management* 16:145–169
- Shangguan Z, Shao M, Horton R, Lei T, Qin L and Ma J, 2002. A model for regional optimal allocation of irrigation water resources under deficit irrigation and its applications. *Agricultural Water Management*52:139–154
- Sophocleous M. 1998. Perspectives on sustainable development of water resources in Kansas, papers from 10 contributors, glossary, and an index, 239 pages.
- Tsakiris G and SpiliotisM ,2006. Cropping pattern planning under water supply from multiple sources. *Irrigation and Drainage System* 20:57–68