

## تعیین الگوی کشت محصولات زراعی همسو با کشاورزی پایدار با رویکرد برنامه‌ریزی کسری خطی چند هدفی (مطالعه موردی: شهرستان اردبیل)

شهلا داورپناه<sup>۱</sup>، صدیقه هاشمی بناب<sup>۲\*</sup>، محمد خداوردیزاده<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۱۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

\*مسئول مکاتبه: Email: s.hashemibonab@urmia.ac.ir

### چکیده

بخش کشاورزی نقش مهمی در اقتصاد ملی، اشتغال‌زایی و تأمین غذای افراد جوامع مختلف دارد. در طول دهه‌های اخیر، رشد روزافزون جمعیت و لزوم تأمین امنیت غذایی، سبب افزایش فشار بر منابع طبیعی به خصوص در کشورهای در حال توسعه شده است. بنابراین، لازم است از منابع تولید در این بخش به بهترین شیوه‌ی ممکن استفاده شود تا ضمن کاهش مصرف این منابع، سودآوری و رفاه کشاورزان نیز افزایش یابد. شهرستان اردبیل به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی استان اردبیل در وضعیت ناپایداری به لحاظ شاخصهای زیست محیطی نظیر میزان مصرف آب و کودها و سموم شیمیایی قرار دارد. از این رو در این مطالعه با استفاده از داده‌های مقطعی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و بکارگیری رویکرد برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه، سطح بهینه تولید محصولات زراعی همسو با کشاورزی پایدار تعیین و با الگوی کشت فعلی منطقه مقایسه شد. اطلاعات مورد نیاز این پژوهش با استفاده سالنامه‌های آماری سازمان جهاد کشاورزی شهرستان اردبیل جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که به‌منظور تحقق برخی اهداف پایداری نظیر کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و آب لازم است در کوتاه مدت از بخشی از درآمد ناخالص کل تولیدات کشاورزی چشم‌پوشی شود، ولیکن با در نظر گرفتن هزینه‌های غیرمستقیم زیادی که عدم رعایت اصول پایداری بر جامعه و محیط کشاورزی تحمیل می‌کند، این کاهش در درآمد ناخالص کشاورزان قابل توجیه خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: اردبیل، الگوی بهینه کشت، کشاورزی پایدار، رویکرد برنامه‌ریزی کسری، پایداری

## Determining the Cropping Pattern Consistent with Sustainable Agriculture by Multi Linear Fractional Programming Approach (Case Study: Ardebil County)

Shahla Davarpanah<sup>1</sup>, Sedigheh Hashemi Bonab<sup>2\*</sup>, Mohammad Khodaverdizadeh<sup>3</sup>

Received: December 17, 2017 Accepted: July 5, 2018

1- MSc Student of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

2- Assist. Prof., Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

3- Assist. Prof., Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

\*Corresponding Author Email:s.hashemibonab@urmia.ac.ir

### Abstract

The agricultural sector plays an important role in the national economy, employment and food security of various communities. During recent decades, population increasing growth and the need to food security increased pressure on natural resources especially in developing countries. Therefore, it is necessary to use the resources of production in this sector in the best way possible, while reducing the consumption of these resources, the profit and welfare of farmers also will increase. Therefore in this study, the optimal cropping pattern consistent with sustainable agriculture with cross section data of year 1394-1395 and using multi objective fractional programming approach in Ardebil county determined and compared with present cropping pattern. The required data were collected from statistical yearbook of agriculture organization. The results indicated that in order to achieve some sustainability goals such as reducing the use of chemical and water inputs, it is necessary to exclude part of gross income from total agricultural production in the short term. However, taking into account the many indirect costs that non-compliance with the principles of sustainability affects society and the agricultural environment, this reduction in the gross income of farmers can be justified.

**Keywords:** Ardebil, Optimal Cropping Pattern, Sustainable Agriculture, Fractional Programming, Sustainability

### مقدمه

گیرد(کورفماخر ۲۰۰۰). امروزه در عرصه‌ی کشاورزی جهان، واژه‌ی کشاورزی پایدار دارای جایگاه ویژه‌ای است، البته نظام کشاورزی پایدار زمانی تحقق می‌یابد که در فرآیند کشاورزی به سلامت محیط‌زیست توجه خاص شود. مبانی چنین دیدگاهی با تکیه بر اصول حفاظت محیط‌زیست، درک روابط پیچیده‌ی بیولوژیکی و بهره‌گیری از فن‌آوری‌های مناسب و هماهنگ با

در سال‌های اخیر اثرات نامطلوب استفاده از مواد شیمیایی در بسیاری از مناطق کشور به چشم می‌خورد. تأثیرات نامطلوب کودها و آفتکش‌ها بر محیط‌زیست 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 کشاورزی بوم شناختی مورد توجه قرار

اردبیل در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، ۹۹۸۳۲ هکتار گزارش شده است، که از این میزان ۶۰۹۳۲ هکتار آن به کشت آبی و ۳۸۹۰۰ هکتار به کشت دیم اختصاص دارد. این شهرستان با تولید بیش از ۱۲۳ هزار تن محصول گندم و ۵۰ هزار تن جو از بزرگترین قطب‌های کشاورزی استان و کشور محسوب می‌شود. شهرستان اردبیل به دلیل تولید بیش از ۶۱۵ هزار تن محصول سیب‌زمینی در مساحتی حدود ۱۵ هزار هکتار از اراضی شهرستان، یکی از قطب‌های مهم تولید سیب‌زمینی کشور می‌باشد که به همراه شهرستان‌های نیر و نمین، رتبه اول و در مواردی رتبه دوم کشور را در تولید این محصول به خود اختصاص داده است.

بر اساس مطالعه داورپناه و همکاران در سال ۲۰۱۶، ارزیابی پایداری مناطق مختلف استان اردبیل بر اساس شاخصهای مختلف پایداری نشان داد شهرستان اردبیل در وضعیت ناپایداری به لحاظ شاخصهای زیست محیطی نظیر میزان مصرف آب و کودها و سموم شیمیایی دارد. بر اساس این مطالعه در رابطه با میزان مصرف کودهای شیمیایی شهرستان اردبیل با ۱۰۷ کیلوگرم در هکتار بعد از شهرستان پارس آباد رتبه دوم را در استان دارد و در زمینه استفاده از سموم شیمیایی شهرستان‌های پارس‌آباد، بيله‌سوار و اردبیل به ترتیب با ۳/۰۳، ۱/۰۸ و ۰/۸۳ لیتر در هکتار دارای بیشترین میزان هستند. این شهرستان به لحاظ استفاده از روشهای آبیاری نوین هم بسایر ضعیف عمل کرده و راندمان آبیاری بسیار پایین می‌باشد.

استان اردبیل از نظر جغرافیایی در قسمتی از کره‌ی زمین قرار گرفته که با محدودیت‌های اقلیمی خاص مواجه است. خشک‌سالی یکی از محدودیت‌هایی است که در بسیاری از سال‌ها به‌عنوان چالشی بزرگ در برابر توسعه‌ی کشاورزی مطرح بوده و همواره مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. از سوی دیگر محدودیت‌هایی هم‌چون خاک زراعی، عوامل اقتصادی، تغییرات اقلیمی، خرد بودن اراضی کهن‌سالی نیروی کار بخش کشاورزی

ویژگی‌های جوامع مربوط می‌باشد (داوودی و مقصودی ۲۰۱۱).

طی دهه‌های اخیر در کشور ایران نیز افزایش تولید محصولات کشاورزی با استفاده از فناوری‌های مدرن اگرچه بخشی از نیازهای جمعیت رو به رشد را برطرف کرده است، اما با گذشت زمان منابع طبیعی را با مخاطراتی چون فرسایش خاک، آلودگی آب ناشی از مصرف بی‌رویه مواد شیمیایی، ضایعات و فاضلاب‌های کشاورزی و تخریب محیط‌زیست مواجه کرده است (کوچکی و همکاران ۲۰۱۵). در منابع علمی مختلف، استفاده از کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی در کشاورزی به عنوان اصلی‌ترین عوامل آلودگی آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف مطرح شده‌اند (المصری و کالورچی ۲۰۰۵). دشت اردبیل از این قاعده مستثنی نیست و به‌واسطه‌ی فعالیت‌های کشاورزی در برخی از نقاط آن مقادیر بالایی از غلظت نترات مشاهده شده است (کرد و همکاران ۲۰۱۵). همچنین به دلیل برخی بی‌توجهی‌ها به اصول کشاورزی پایدار، صدماتی به منابع طبیعی و محیط‌زیست این استان وارد شده است. با محدود شدن منابع آبی در نتیجه اثرات تغییرات اقلیمی و تداوم خشک‌سالی و استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و فرونشست سفره‌های زیرزمینی، کشاورزی استان اردبیل با چالش جدی مواجه شده است. تخلیه کل سالانه از منابع آب زیرزمینی استان حدود ۳۶۳/۸۵ میلیون مترمکعب است. به‌طوری که استفاده بیش از حد از منابع زیرزمینی تأمین آب مورد نیاز زارعان به‌ویژه سیب‌زمینی‌کاران را در آینده با مشکل جدی روبرو خواهد کرد (سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل ۲۰۱۶).

شهرستان اردبیل مرکز استان اردبیل در شمال غربی کشور است. این شهرستان در ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح دریا و در میان کوه‌های تالش و سبلان واقع در رشته‌کوه البرز در شمال غرب فلات ایران جای گرفته است. سطح زیرکشت محصولات زراعی شهرستان

کاوند و همکاران (۲۰۱۳) باهدف تعیین الگوی کشت بهینه در راستای کشاورزی پایدار مطالعه‌ای انجام دادند و نشان دادند که الگوی کشت فعلی با الگوهای به‌دست آمده از مدل برنامه‌ریزی کسری متفاوت است. همچنین با توجه به یافته‌ها در الگوی حاصل از مدل کشت گندم، ذرت و یونجه افزایش خواهد یافت. سیبک و پاندا (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای مدل برنامه‌ریزی خطی را برای تخصیص مطلوب زمین و منابع آب به منظور به حداکثر رساندن بازده خالص سالانه در یک منطقه آبی واقع در ایالت هاریانا در هند مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد در الگوی بهینه کشت سطح زیر کشت برنج، خردل و جو کاهش و در مناطق گرم سطح زیرکشت پنبه، نیشکر، گندم، ارزن و سورگوم افزایش می‌یابد. همچنین بازده خالص سالانه نزدیک به ۲۶ درصد افزایش می‌یابد. تحلیل حساسیت پارامترهای مدل نشان می‌دهد که قیمت بازاری محصولات حساس‌ترین پارامتر است و بعد از آن سطح زیرکشت محصول و برنامه‌ریزی کشت قرار دارند.

کرامت‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به تخصیص بهینه آب کشاورزی، تعیین ارزش اقتصادی آب و تعیین الگوی کشت بهینه اراضی پایاب سد بارزو شیروان در استان خراسان شمالی می‌پردازند. در این مطالعه با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی معمولی (LP) و برنامه‌ریزی چندهدفه (MGLP) به حداکثرسازی سود کشاورزان منطقه پرداخته شده است. اهداف مختلف در روش برنامه‌ریزی خطی چندهدفه شامل اهداف توسعه‌ای، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی می‌باشند که به ترتیب دارای بالاترین اولویت برای کشاورزان منطقه می‌باشند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اجرای الگوی کشت بهینه و تخصیص بهینه آب کشاورزی اثرات قابل توجهی در سود کشاورزان منطقه داشته و میزان آب مصرفی را ۱۹ درصد کاهش داده است. امینی فسخودی و نوری (۲۰۱۱) به ارزیابی پایداری در سیستم زراعی منطقه‌ای روستایی در شرق

چالش‌های تولید را در کشور چند برابر می‌کند. با توجه به چنین شرایطی، یکی از راهکارهای اساسی جهت افزایش کارایی مصرف آب و نهاده‌های شیمیایی، حداکثر کردن بازده برنامه‌ای و حداقل کردن مصرف آب و نهاده‌های شیمیایی با انتخاب الگوی کشت متناسب با محدودیت‌های فنی و عوامل تولید منطقه می‌باشد. در همین راستا در این تحقیق سعی بر این است تا با در نظر گرفتن برخی مسائل مربوط به حفظ محیط زیست و در نظر داشتن میزان موجودی منابع با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی، الگوی کشت مناسب برای منطقه مورد مطالعه تعیین شود.

در رابطه با کاربرد روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی در فعالیت‌های کشاورزی مطالعات متعددی در دنیا صورت گرفته است که در ادامه به برخی از مطالعات انجام شده در این زمینه اشاره می‌شود. لارا و استنکو میناشین (۱۹۹۹) 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 در خطی سازی مدل‌های برنامه‌ریزی کسری موانع محاسباتی روش داتا-رائو-تیواری کمتر از روش نیکوفسکی و زولکیفسکی می‌باشد. دانشور و همکاران (۲۰۰۹) الگوی کشت بهینه با هدف کاهش مخاطرات محیطی را برای کشاورزی ایران تعیین کردند. در این مطالعه از مدل برنامه‌ریزی کسری فازی با اهداف چندگانه استفاده شد و نتایج نشان داد که نسبت خالص بازدهی درون مصرفی نهاده‌ها و نسبت مصرف نهاده‌ها در مزرعه با استفاده از الگوی خروجی برنامه‌ریزی فازی کسری با اهداف چندگانه بهبود می‌یابد.

ضروری می‌باشد. یکی از روش‌هایی که در زمینه‌ی تخصیص بهینه‌ی منابع کمیاب کاربرد فراوان دارد، استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی است. الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی از دهه‌های گذشته به ویژه 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 آّب، زمین و کاهش مصرف کودهای شیمیایی و سموم و در نتیجه حفاظت محیط‌زیست و توسعه پایدار کشاورزی نیز مدنظر می‌باشند. بنابراین الگوهای برنامه‌ریزی باید به نحوی طراحی شوند 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 که اولین بار توسط چارلز و کوپر (۱۹۶۲) معرفی شد. این مدل کاربردهای زیادی در مدیریت منابع و سیستم‌های زراعی دارند (رومرو و رحمان ۱۹۸۹) 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 (لارا و اسنکو میناشین ۱۹۹۹). 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. در این پژوهش برای دست‌بازی به هدف اصلی تحقیق و کاهش میزان استفاده از کودها و سموم شیمیایی و همچنین آب نسبت به سود در منطقه از برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه استفاده شده است. همچنین در

استان اصفهان پرداختند و سعی نمودند الگوی کشتی متناسب با بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک آن منطقه با استفاده از رهیافت الگوهای برنامه‌ریزی تدوین نمایند. و به این نتیجه رسیدند که الگوی برنامه‌ریزی کسری روش مناسبی برای مطالعه پایداری در چارچوب تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره به نظر می‌رسد.

حسین‌زاد و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه الگوی بهینه کشت محصولات زراعی کشاورزی زیر سد و شبکه علویان (دشت مراغه-بناب) را بر اساس داده‌های مقطعی سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ تعیین نمودند. هرچند در الگوی برنامه‌ریزی کسری در کوتاه‌مدت 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. 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.

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که مطالعه‌ای در زمینه‌ی بررسی شاخص‌های پایداری کشاورزی در استان اردبیل صورت نگرفته است. این مطالعه به دنبال تعیین الگوی کشت بهینه شهرستان اردبیل در راستای کشاورزی پایدار و تحقق همزمان اهداف حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی نهاده‌های شیمیایی و حداقل‌سازی مصرف آب از الگوی برنامه‌ریزی کسری چندهدفی بهره گرفته شده است. پس از به‌کارگیری این روش مشخص خواهد شد که برای حرکت به سمت کشاورزی پایدار چه تغییراتی باید در الگوی کشت منطقه ایجاد شود.

#### مواد و روش‌ها

از آنجایی که هدف علم اقتصاد، تخصیص منابع کمیاب بین فعالیت‌های رقیب است، لذا استفاده از روش‌ها و تکنیک‌هایی که بتواند به اهداف مذکور تحقق بخشد

شکل کلی برنامه‌ریزی کسری خطی با اهداف چندگانه به  
 ف (رابطه ۲) لارا و اسنکو میناشین (۱۹۹۹).

$$\begin{aligned} \text{Max } Z_i(x) &= \text{Max}\{Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_n(x)\} \\ \text{s. t: } Ax &\leq C, \\ x &\geq 0, \quad x \in R^n, c \in R^m, A \in R^{m \times n} \\ \text{and} \\ Z_i(x) &= \frac{a_i x + \alpha_i}{b_i x + \beta_i} = \frac{F_i(x)}{G_i(x)}, \\ a_i, b_i &\in R^n; \quad \alpha_i, \beta_i \in R, \\ i &= 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned}$$

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 (۱۹۷۸) با به کارگیری روشی،  
 برنامه‌ریزی کسری خطی را به برنامه‌ریزی خطی  
 معمولی تبدیل کردند. این روش بر اساس تغییر  
 متغیرهای اصلی برای مسئله LFP بنا نهاده شده است  
 که به صورت زیر می‌باشد:

$$y = \frac{1}{d(x)} x, \quad t = \frac{\gamma}{d(x)} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$y$ ، پارامتری است که معمولاً به سبب سادگی،  $\gamma$   
 می‌پذیرد. با ایجاد تغییراتی در معادله (۱) می‌توان یک راه  
 ساده برای حل برنامه‌ریزی خطی به دست آورد (چارنز  
 و همکاران ۱۹۷۸)

$$\begin{aligned} \text{Maximize } & a^t + \alpha t \\ \text{S. t:} \\ Ay^t - Ct &\leq 0 \\ b^t y + \beta t &= 1 \\ y, t &\geq 0 \end{aligned} \quad (\text{رابطه ۴})$$

در این حالت تابع هدف، شکل<sup>۴</sup> تغییر یافته صورت  
 کسر می‌باشد و شکل تغییر یافته مخرج کسر به‌عنوان یک  
 قید در ناحیه قابل دسترس اضافه شده است. اساس این  
 روش این است که اگر  $\gamma$  و  $t$  جواب بهینه مسئله تغییر یافته  
 باشد، آنگاه  $x = \frac{\gamma}{t}$  جواب بهینه مسئله اولیه کسری است.  
 روش فوق به نام روش داتا-رائو-تیواری معروف است.

این مطالعه نتایج مدل با الگوی فعلی کشت منطقه نیز  
 مقایسه شده است. برنامه‌ریزی کسری، یکی از مدل‌های  
 برنامه‌ریزی می‌باشد. این نوع برنامه‌ریزی، عمومی‌ترین  
 روش در برنامه‌ریزی ریاضی و ادبیات تحقیق در عملیات  
 می‌باشد که شامل مدل‌هایی است که اهداف آنها خارج  
 قسمت دو تابع می‌باشد.

شکل کلی مدل برنامه‌ریزی کسری خطی (LFP) به  
 صورت زیر است (لارا و اسنکو میناشین ۱۹۹۹).

$$\begin{aligned} \text{Maximize: } r(x) &= \frac{a^t x + \alpha}{b^t x + \beta} \\ \text{s. t: } A(x) &\leq C, \\ x &\geq 0 \quad x \in R^n, A \in R^{m \times n}, \\ b &\in R^n, C \in R^m, \alpha, \beta \in R \end{aligned} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$A$  نشان‌دهنده ماتریس ضرایب فنی،  $X$  نشان‌دهنده  
 ماتریس متغیرهای تصمیم،  $C$  ماتریس منابع یا ماتریس  
 مقادیر سمت راست،  $\alpha, \beta$  نشان‌دهنده مقادیر ثابت،  $R^n$   
 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 (۱) امکان دارد برای هر مقدار  $x$ ، مقدار  
 $b^t x + \beta$  برابر با صفر در نظر گرفته شود. برای اجتناب  
 از این واقعه فرض می‌شود که شرایط زیر برقرار باشند:  
 $b^t x + \beta > 0 \rightarrow$   
 $[x \geq 0, A \leq C]$

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 (۱)  
 می‌باشد (چارنز و همکاران ۱۹۷۸). چنانچه چندین هدف  
 کسری با عبارت‌های خطی در صورت و مخرج تابع هدف  
 در نظر گرفته شود در آن صورت بایستی از روش  
 برنامه‌ریزی کسری خطی با اهداف چندگانه برای تعیین  
 الگوی بهینه کشت بهره گرفته می‌شود. در حالت عمومی

الگوی تجربی تحقیق حاضر به شرح زیر می‌باشد که در آن میزان مصرف آب، کودها و سموم در صورت کسر تابع هدف و سود ناخالص برنامه در مخرج کسر تابع هدف به شکل رابطه شماره ۵ لحاظ گردید.

$$\text{Min } Q = \sum_{j=1}^3 \frac{\sum_{i=1}^9 F_{ji} X_i}{\sum_{i=1}^9 R_i X_i} + \sum_{j=1}^3 \frac{\sum_{i=1}^9 S_{ji} X_i}{\sum_{i=1}^9 R_i X_i} + \sum_{j=1}^6 \frac{\sum_{i=1}^9 W_{ji} X_i}{\sum_{i=1}^9 R_i X_i} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن

$X_i$ : سطح زیر کشت محصول نام بر حسب هکتار

$F_{ji}$ : میزان کود مصرفی نام در محصول نام در واحد سطح

$S_{ji}$ : میزان سم مصرفی نام در محصول نام در واحد سطح

$R_i$ : درآمد ناخالص محصول نام در واحد سطح

همانطور که در تابع هدف نشان داده شده است مصرف انواع کودهای فسفاته، ازته و پتاسه و نیز انواع سموم شیمیایی شامل علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها به تفکیک در تابع هدف وارد شده است. میزان مصرف آب نیز برای ماههای فروردین تا شهریور ماه جداگانه در نظر گرفته شده است. محدودیتهایی نظیر مقدار زمین موجود، ماشین‌آلات، نیروی کار نیز در مدل برنامه ریزی اعمال گردید. برای لحاظ مقدار خودمصرفی و نیز تناوب زراعی از محدودیت حداقل سطح زیر کشت برای محصولات استفاده شد که این حداقل برای غلات ۵۰ درصد سطح زیر کشت فعلی و برای یونجه ۷۰ درصد سطح زیر کشت فعلی آنها در نظر گرفته شد. اطلاعات مورد نیاز این تحقیق با استفاده از آمارنامه‌های سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان اردبیل و مراجعه حضوری و مصاحبه با کارشناسان این سازمان گردآوری شد. مدل استفاده شده در این تحقیق پس از تبدیل به فرم خطی با استفاده از نرم افزار LINGO پردازش گردید.

### نتایج و بحث

از آنجایی که برنامه‌ریزی خطی متعارف یک تکنیک بهینه کردن تک‌هدفه می‌باشد. در این مطالعه به دنبال تعیین الگوی کشت بهینه در راستای کشاورزی پایدار اهداف حداقل‌سازی مصرف کودها و سموم شیمیایی نسبت به سود و حداقل‌سازی مصرف آب نسبت به سود به‌طور همزمان در قالب یک الگوی برنامه‌ریزی کسری چندهدفی در نظر گرفته شد که نتایج حاصل از حل این مدل با استفاده از روش داتا-رئو-تیواری، در جدول شماره (۱) گزارش شده است.

با توجه به نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی کسری چندهدفه در شهرستان اردبیل، سطح زیر کشت عدس دیم نسبت به وضعیت موجود افزایش و بقیه محصولات در حداقل مقدار در نظر گرفته شده به جهت خود مصرفی و بحث تناوب وارد الگوی کشت شده‌اند. بر اساس نتایج مدل سیب زمینی محصول پیشنهادی مدل برنامه ریزی کسری با اهداف چندگانه بوده و سطح زیر کشت آن نسبت به وضع موجود توسعه بخشیده شده است و سایر محصولات به اندازه حداقل سطح زیر کشت تحمیل شده بر مدل لحاظ شده‌اند. زمانی که هدف از برنامه‌ریزی دستیابی همزمان به هدف نسبت حداقل نهاده‌های شیمیایی به سود ناخالص و نسبت حداقل آب مصرفی به سود ناخالص با تأکید بر کشاورزی پایدار باشد، مشاهده می‌شود.

جدول ۱- نتایج مدل برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه در شهرستان اردبیل

محصولات	الگوی حاصل از مدل (هکتار)	الگوی کشت فعلی (هکتار)	درصد تغییرات
گندم آبی	۱۳۲۵۳	۲۶۵۰۰	-۴۹/۹
جو آبی	۵۲۲۰	۱۰۵۰۰	-۵۰/۲
سیب‌زمینی	۱۵۵۳۵	۱۵۲۰۰	۲/۲۰
لوبیا	۵۰۰	۱۰۰۰	-۵۰
یونجه آبی	۲۵۲۰	۳۶۰۰	-۳۰
گندم دیم	۹۴۳۷	۱۸۹۰۰	-۵۰
جو دیم	۵۶۵۰	۱۱۳۰۰	-۵۰
عدس دیم	۷۲۱۸	۶۷۵۰	۶/۹
نخود دیم	۲۵۰	۵۰۰	-۵۰
جمع سطح زیرکشت	۵۹۵۸۳	۹۴۲۵۰	-۳۶/۷۸
سود ناخالص (ریال)	$۳/۳۹۹۰۳ \times ۱۰^{۱۲}$	$۳/۷۷۷۰ \times ۱۰^{۱۲}$	-۱۰/۲۴
میزان مصرف کود (کیلوگرم)	۱۵۴۴۸۲۰۰	۲۰۸۶۲۵۰۰	-۲۵/۹
میزان مصرف سموم (لیتر)	۲۱۶۹۹۶	۲۸۲۹۰۰	-۲۳/۲
میزان مصرف آب (مترمکعب)	۳۸۹۶۵۹۶۹۸	۵۱۵۹۹۱۰۶۰	-۲۴/۴

مأخذ: یافته‌های تحقیق

اهداف زیست‌محیطی باعث کاهش سود بهره‌برداران خواهد شد.

مقایسه شاخص‌های پایداری در الگوی کشت بهینه با الگوی کشت فعلی شهرستان اردبیل

میزان مصرف کودها و سموم شیمیایی در واحد سطح مبین میزان پایداری کشاورزی است، زیرا هر چه در یک دوره زمانی نسبت مصرف نهاده‌ها در واحد سطح کاهش یابد، بهره‌برداران در جهت پایداری عمل می‌کنند، یا اینکه سیاست‌های دولت نظام تولید را به سمت پایداری سوق می‌دهد. به منظور بررسی این موضوع شاخص‌های پایداری مدنظر در دو الگوی کشت فعلی و الگوی کشت با اهداف چندگانه محاسبه شده که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

که مصرف کودها، سموم شیمیایی و آب مصرفی به ترتیب ۲۵/۹، ۲۳/۲ و ۲۴/۴ درصد کاهش و بازده برنامه‌ای ۱۰/۲۴ درصد کاهش یافته است؛ که اهداف مصرف آب، مصرف کودها و سموم شیمیایی در جهت مطلوب و هدف بازده برنامه‌ای در جهت نامطلوب پیش رفته است. بر اساس نتایج الگوی کشت ارائه شده بر مبنای روش برنامه‌ریزی کسری با الگوی کشت فعلی منطقه اختلاف دارد؛ به‌گونه‌ای که بدون محدودیت حداقل سطح زیر کشت برای سایر محصولات که وارد الگو نشده‌اند از تنوع کشت کاسته می‌شود و الگوی کشت فعلی برای همسویی با اهداف پایداری بیشتر دستخوش تغییر می‌شود. حرکت به سمت الگوی کشت متناسب با



## جدول ۲- نتایج محاسبه شاخص‌های پایداری در الگوی کشت فعلی و الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه در

## شهرستان اردبیل

شاخص‌های پایداری	الگوی کشت فعلی	الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه	درصد تغییرات
کود ازته (کیلوگرم در هکتار)	۱۰۲	۷۷	-۲۴
کود فسفات (کیلوگرم در هکتار)	۸۳	۵۶	-۳۲
کود پتاسه (کیلوگرم در هکتار)	۳۵	۳۰	-۱۴
سم علف‌کش (لیتر در هکتار)	۱/۷۷	۱	-۴۳
سم قارچ‌کش (لیتر در هکتار)	۰/۶۴	۰/۴۴	-۳۱
سم حشره‌کش (لیتر در هکتار)	۰/۵۸	۰/۵۸	۰
آب در فروردین ماه (متر مکعب در هکتار)	۷۹۸	۴۲۲	-۴۷
آب در اردیبهشت ماه (متر مکعب در هکتار)	۱۰۳۶	۵۴۷	-۴۷
آب در خرداد ماه (متر مکعب در هکتار)	۱۱۶۹	۸۱۹	-۲۹
آب در تیرماه (متر مکعب در هکتار)	۱۰۶۲	۹۷۲	-۸
آب در مرداد ماه (متر مکعب در هکتار)	۸۴۸	۸۲۹	-۲
آب در شهریور ماه (متر مکعب در هکتار)	۵۵۹	۵۴۱	-۳
نسبت سود به مصرف آب (هزار ریال بر مترمکعب)	۷۳۱/۹	۸۶۹/۹	۱۸/۸
نسبت سود به مصرف کود (هزار ریال بر کیلوگرم)	۱۸۱۰۴	۲۱۹۴۴	۲۱/۲۱
نسبت سود به مصرف سم (هزار ریال بر لیتر)	۱۳۳۵۱۰۳	۱۷۶۲۵۱۷	۳۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

افزایش داشته است. با محاسبه شاخص‌های پایداری مشخص شد که مصرف سموم و کودهای شیمیایی در الگوی برنامه‌ریزی کسری نسبت به الگوی فعلی مقادیر پایین‌تری را نشان می‌دهد. اگرچه اجرای الگوی برنامه‌ریزی کسری سود ناخالص کمتری را ایجاد می‌کند. ولی در صورت اجرای این الگو برخی از اهداف پایداری بخصوص کاهش مصرف مواد شیمیایی مضر در منطقه رعایت شده است.

نتایج مطالعات قبلی از جمله مطالعه کهنسال و فیروز زارع (۲۰۰۸) که به تعیین الگوی بهینه کشت استان خراسان شمالی با اهداف کشاورزی پایدار پرداختند نیز نشان می‌دهد میزان شاخص‌های پایداری در الگوی برنامه‌ریزی فازی کسری با اهداف چندگانه نسبت به الگوی برنامه‌ریزی ساده در وضعیت بهتری قرار دارند. همچنین نتایج مطالعه زمانی و همکاران (۲۰۱۰) که به

همان‌گونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود در الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه شاخص‌های پایداری برای نهاده‌های کود، سموم شیمیایی و آب در واحد سطح در مقایسه با الگوی کشت فعلی که به پایداری اهمیت نمی‌دهد و تنها هدف حداکثرسازی سود را مدنظر قرار می‌دهد، کمتر است (البته به استثنای مصرف سم حشره‌کش که میزان مصرف آن ثابت است). در این الگو میزان مصرف نهاده‌های شیمیایی کود فسفات و سم علف‌کش به ترتیب ۳۲ و ۴۳ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی کاهش یافته است. میزان مصرف آب در ماه‌های مختلف نیز همانطور که در جدول (۲) نشان داده شده است نسبت به الگوی کشت فعلی منطقه بسیار کمتر است. شاخص‌های پایداری نسبت سود به مصرف آب، سود به مصرف کود و سود به مصرف سم در مدل کسری به ترتیب ۱۸، ۲۱/۲۱ و ۳۲ درصد نسبت به الگوی فعلی

پایداری منطقه توجهی ندارند و تنها به دنبال حداکثر سازی منافع بازاری حاصل از تولیدات خویش هستند. در حالی که با استفاده از مدل برنامه‌ریزی کسری می‌توان ضمن لحاظ محدودیتهای منابع موجود در منطقه، الگوی کشتی را تدوین و ارائه کرد که ضمن ممکن ساختن کسب حداکثر سود، استفاده از نهاده‌های کود و سموم شیمیایی و همچنین میزان آب مصرفی را به حداقل ممکن برساند. با توجه به نتایج مشاهده شد که در شهرستان اردبیل سود حاصل از الگوی برنامه‌ریزی کسری نسبت به برنامه‌ریزی فعلی کمتر است. این مسئله را این‌گونه می‌توان توجیه کرد که در مدل برنامه‌ریزی کسری، هدف ما تنها دستیابی به حداکثر سود نیست بلکه هدفی والاتر و مهمتر که همانا بقای محیط‌زیست، تولید محصول سالم و حفظ سلامت نوع بشر است، مدنظر قرار می‌گیرد. بنابراین با توجه به اینکه حرکت به سمت الگوی کشت پایدار در کوتاه‌مدت باعث کاهش بازده برنامه‌ی بهره‌برداران می‌شود، می‌توان با تمهیدات و اقدامات مناسبی مانند اعمال قیمت‌های متفاوت (اعمال قیمت‌های بیشتر برای محصولاتی که از سموم و کودهای شیمیایی کمتر استفاده شده است) بخشی از کاهش سود را جبران کرد. علاوه بر این، نتایج به دست آمده از مدل برنامه‌ریزی کسری نشان داد که حرکت به سمت پایداری از تنوع کشت در منطقه مورد مطالعه خواهد کاست و تعدادی از محصولات از الگوی کشت فعلی مناطق حذف میشوند.

یکی دیگر از اهداف این تحقیق حداقل کردن استفاده از سموم شیمیایی در راستای رسیدن به کشاورزی پایدار می‌باشد؛ که در الگوهای پیشنهادی میزان مصرف نهاده‌های شیمیایی کاهش یافته است. با توجه به اینکه استفاده بی‌رویه از سموم و کودهای شیمیایی آسیب‌های فراوانی را بر محیط‌زیست وارد می‌کنند که جبران آن‌ها هزینه‌های بسیاری را بر جامعه وارد می‌کند (که در بعضی مواقع هم قابل جبران نیستند). بنابراین توصیه می‌شود در کوتاه‌مدت به منظور پیشگیری و کاهش چنین

تعیین الگوی زراعی در جهت کشاورزی پایدار برای شهرستان پیرانشهر پرداختند، شاخص‌های پایداری (نسبت سود ناخالص به استفاده از کودها و سموم شیمیایی) نشان از اهمیت توجه به این الگوی پیشنهادی در جهت پایداری داشت.

مطالعه حسین زاد و همکاران در سال ۲۰۱۴ که به تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی زیر سد علویان پرداختند نتایج مشابه با نتایج تحقیق حاضر بدست آوردند. بر اساس نتایج الگوی کشت ارائه شده بر مبنای روش برنامه‌ریزی کسری با الگوی کشت فعلی منطقه اختلاف دارد؛ به‌گونه‌ای که از تنوع کشت کاسته می‌شود و الگوی کشت فعلی برای همسویی با اهداف پایداری بیشتر دستخوش تغییر می‌شود. حرکت به سمت الگوی کشت متناسب با اهداف زیست‌محیطی باعث کاهش سود بهره‌برداران خواهد شد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به هدف تحقیق یعنی تعیین الگوی کشت مناسب در شهرستان اردبیل با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی، بهترین مدلی که برای این تحقیق می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد، مدل برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه می‌باشد. پس از تعیین الگوی بهینه کشت بر اساس این مدل با الگوی کشت فعلی منطقه مورد مقایسه قرار گرفت و وضعیت شاخصهای پایداری در مدل بهینه و وضع وجود مورد بررسی قرار گرفت.

مقایسه نتایج الگوی برنامه‌ریزی کسری با الگوی فعلی کشت در شهرستان اردبیل نشان داد که خروجی دو الگو با همدیگر متفاوت هستند. تفاوت بین الگوهای کشت ارائه شده بر مبنای برنامه‌ریزی کسری با الگوی فعلی مبین مؤثر بودن محدودیتهای پایداری به کار گرفته در الگوی برنامه‌ریزی کسری است. به عبارت دیگر می‌توان گفت که زارعین منطقه مورد مطالعه در تدوین الگوی کشت خود به شاخص‌های زیست‌محیطی و

کمکها میتواند در قالب تسهیلات برای استفاده از روشهای آبیاری نوین و نیز تولید محصولات ارگانیک باشد.

خساراتی بر محیطزیست و افزایش انگیزه برای اجرای چنین برنامه ای کمکهایی را برای کشاورزانی که اصول کشاورزی پایدار را رعایت می کنند و از نهاده های زیان آور استفاده کمتری می کنند در نظر گرفته شود. این

#### منابع مورد استفاده

- Amini Fasakhodi, A, Nouri SH. 2011. Sustainability Assessment and Cropping Pattern Determination in Farming Systems Based on the Optimization of Soil and Water Resources Utilization Using Non-linear Mathematical Programming Models. *Journal of Water and Soil Science*, 15 (55): 99-111. (In Persian).
- Almasri, MN and Kaluarachchi JJ. 2005. Multi-criteria decision analysis for the optimal management of nitrate contamination of aquifers. *Journal of Environmental Management*, 74(4): 365-381.
- Ardabil Agricultural Jihad Organization .2016. Reports of Production Cost Information.
- Azimi fard S, Zare Mehrjardi MR and Mehrabi Basharabadi H. 2013. Sustainability of Water Resources in Quchan County: Fractional Programming Approach. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 3: 1-11. (In Persian).
- 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, Shahnoushi N and Salehi Reza Abadi F, 2009. The determination of optimal crop pattern with aim of reduction in hazards of environmental, *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4 (4): 305- 310.
- Davarpanah Sh, Hashemi Bonab S and Khodaverdizadeh M. 2016. Assessment and Comparison of Sustainable Agriculture Approach Using a Combination of AHP and TOPSIS. *International Academic Journal of Economics*, 3(9): 7-18.
- Davoodi H and Maghsoodi T. 2011. Analysis of Potato Growers' Knowledge about Sustainable Agriculture, *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 2:265-274. (In Persian).
- Hosseinzad J, Namvar A, Hayati B and Pishbahar E.2014. Determination of Crop Pattern with Emphasis on Sustainable Agriculture in the Lands below the Alavian Dam and its Network. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 2: 41-54. (In Persian).
- Keramatzadeh A, Chizari AH and Sharzeie G. 2011. The Role of water market in determining of agricultural water economic value with a positive mathematical programming (PMP) approach, Case Study: downstream of Bojnoord Shirindare dam, *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 42: 29-44. (In Persian).
- Kohansal MR and Firooz Zarea A. 2008. Determining optimal cultivation model corresponding with organic agriculture Application of Multiple-objective Linear Fuzzy Fractional Programming (Case study: North Khorasan province). *Journal of Agricultural Economics and Development Research*. 62: 1-31. (In Persian).
- Koocheki A, Nassiri Mahallati M, Moradei R and Mansoori H. 2015. Assessing Sustainable Agriculture Development Status in Iran and Offering of Sustainability Approaches. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 4: 179-197. (In Persian).
- Korfmacher KS. 2000. Farmland preservation and sustainable agriculture: Grassroots and policy connections, *American Journal of Alternative Agriculture*, 15: 37-43
- Lara P and Stancu-Minasian I. 1999. Fractional programming: a tool for the assessment of sustainability. *Agricultural Systems*, 62:131-141.

- Rastegaripour F, Sabohi Sabooni M .2012. Grey Fractional Programming: A New Experimental Approach in Sustainable Agriculture. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 1: 127-135. (In Persian).
- Romero C and Rehman T. 1989. *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions*. Elsevier, Amsterdam.
- Singh A, Panda SN. 2012. Development and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return. *Agricultural Water Management*, 1 (115): 267- 275.
- Zamani O, Sabohi Sabooni M. and Nader H. 2010. Determining Cropping Pattern Corresponding Sustainable Agriculture by Using Multi-objective Fuzzy Fractional programming: a Case of Piranshahar City. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, (4). 101-112. (In Persian).