

## Assessing the Sustainability of Cropping Pattern in the Sistan Region with Emphasis on Optimal Water Distribution

Mohammad Reza Rezaei Asl<sup>1</sup>, Mahmoud Ramroudi<sup>2\*</sup>, Mahmoud Ahmadpour Brazjani<sup>3</sup>, Zahra Marzban<sup>4</sup>

Received: 02 December 2021 Accepted: 28 February 2022

1- Student of Agroecology, University of Zabol

2- Assoc. Prof., of Agriculture Dept. University of Zabol Iran.

3- Assoc. Prof., Faculty of Agriculture, Dept. of Agricultural Economics, University of Zabol, Zabol, Iran.

4- PhD. Graduated of Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

\*Corresponding Author Email: mramroudi42@uoz.ac.ir

### Abstract

**Background and Objective:** The Study's objective is to determine the optimal irrigation water allocation for wheat, barley, weed, and sorghum crops in the Sistan region.

**Materials and Methods:** The current research, using nonlinear multi-objective programming (MOP), aimed to maximize net profit while minimizing irrigation water use, risk taking, fertilizer and pesticide consumption in the Sistan region through an optimal cropping pattern. The data for the study were gathered by reviewing agricultural statistical yearbooks, interviewing experts in each city, conducting a field survey, and completing a questionnaire distributed to region's farmers.

**Results:** The findings of this study indicate that the Sistan region's current cropping pattern is not optimal. Continued use of this pattern will result in problems such as water scarcity and environmental pollution as a result of excessive chemical input consumption. The area under cultivation of some crops decreased, while others increased, with the goal of maximizing gross profit while minimizing irrigation water, fertilizer, and chemical pesticide consumption, as well as risk, which is motivated by product revenue and input usage. It is proposed, based on the findings of this study, to increase the proportion of water in products that earn more money per cubic meter of water consumed. Thus, when the optimal cultivation pattern is used, the farmer earns approximately 9% more profit per cubic meter of water consumed than when the current pattern is used.

**Conclusion:** According to the findings of this study, it is necessary to prioritize environmental goals, which include reducing the use of chemical inputs in cropping pattern optimization. Along with selecting an appropriate model and making the best use of available water and land resources, using the model can be an effective step toward increasing profits and mitigating environmental impacts.

**Keywords:** Multi-Objective Planning, Cropping Pattern, Sustainable Agriculture, Optimization, Net Benefit

## تعیین الگوی کشت بهینه در منطقه سیستان با تأکید بر توزیع بهینه آب

محمد رضا رضایی اصل<sup>۱</sup>، محمود رمرودی<sup>۲\*</sup>، محمود احمدپور برازجانی<sup>۳</sup>، زهرا مرزبان<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۹

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، دانشگاه زابل

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه زابل

۳- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل.

۴- دانش آموخته دکتری آگرواکولوژی، دانشگاه زابل

\* مسئول مکاتبه: Email: mramroudi42@uoz.ac.ir

### چکیده

**اهداف:** هدف از انجام این تحقیق، تخصیص بهینه آب آبیاری بین محصولات گندم، جو، جالیز و سورگوم دشت سیستان می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** در این مقاله با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه با هدف حداکثرسازی سودخالص و حداقل‌سازی میزان آب آبیاری، ریسک‌پذیری، مصرف کود شیمیایی و سموم شیمیایی الگوی کشت بهینه محصولات زراعی منطقه سیستان پیشنهاد شده است. داده‌های مورد نیاز پژوهش، از طریق بررسی سالنامه‌های آماری کشاورزی و مصاحبه با کارشناسان هر شهرستان و بررسی میدانی و تکمیل پرسشنامه از کشاورزان منطقه گردآوری شد.

**یافته‌ها:** نتایج این تحقیق نشان داد که الگوی کشت موجود در منطقه سیستان بهینه نیست و با ادامه این الگو مشکلاتی از قبیل کمبود آب و آلودگی زیست محیطی به دلیل مصرف بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی در منطقه ایجاد خواهد شد. با در نظر گرفتن اهدافی مانند بیشینه‌سازی سود ناخالص و کمینه‌سازی مصرف آب آبیاری، کود و سموم شیمیایی و ریسک، سطح زیرکشت بعضی محصولات منتخب، با کاهش و برخی با افزایش مواجه شد که دلایلی از جمله درآمد محصول و میزان استفاده از نهاده‌ها دارد. بر اساس یافته‌های این تحقیق پیشنهاد می‌شود سهم آب محصولات که به ازای هر مترمکعب آب مصرف‌شده درآمد بیشتری به دست می‌آورند افزایش یابد. بطوری که با اجرای الگوی کشت بهینه نسبت به الگوی جاری به ازای هر متر مکعب آب مصرف شده حدود ۹ درصد سود بیشتری عاید کشاورز خواهد شد.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به یافته‌های این مطالعه توجه به اهداف اثرات زیست محیطی از جمله کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی در بهینه‌سازی الگوی کشت امری ضروری است. همچنین با استفاده از مدل پیشنهادی می‌توان علاوه بر انتخاب الگوی مناسب و استفاده بهینه از منابع آب و زمین، در راستای افزایش سود و کاهش اثرات محیط زیستی گام موثری برداشت.

**واژه‌های کلیدی:** برنامه‌ریزی چند هدفه، الگوی کشت، کشاورزی پایدار، بهینه‌سازی، سود خالص

### مقدمه

می‌آید (مظاهری و همکاران ۲۰۱۹). عدم توجه به میزان مصرف آب در این منطقه در فعالیت کشاورزی مشکلاتی ایجاد می‌کند (مورمو و همکاران ۲۰۱۹). همچنین مصرف زیاد نهاده‌های صنعتی در بخش کشاورزی علاوه بر هزینه‌های گزافی که بر قیمت تمام شده محصولات کشاورزی تحمیل می‌کنند، یکی از منابع جدی آلاینده

اراضی کشاورزی منطقه سیستان در اقلیم خشک واقع شده است. متغیر بودن اقلیم، تنش‌های غیر زنده، بارندگی کم همراه با توزیع نامناسب زمانی و مکانی، کمبود منابع آب، افزایش تقاضا برای آب، شوری خاک و تخریب آن از جمله خصوصیات بارز این منطقه بشمار

همچنین زمین‌های حاصلخیز کشاورزی و اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف نهاده‌ها صورت گیرد (گالان مارتین و همکاران ۲۰۱۵). پس لزوم استفاده از تکنیک‌های مدرن و کارای برنامه‌ریزی، به طوری که بتواند کلیه عوامل اثرگذار بر سیاست‌های بخش کشاورزی و آثار اقتصادی آن را بسنجد، مشخص می‌شود. شبیه‌سازی الگوی کشت بگونه‌ای که تصمیم‌گیران را در مقابل بحران‌های خشکسالی و زیست محیطی یاری دهد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (گوهر و همکاران ۲۰۱۰). از جمله این الگوهای بهینه سازی برنامه‌ریزی چند هدفه<sup>۱</sup> می‌باشد (سارکر و ری ۲۰۰۹). در الگوهای چند هدفه می‌توان از منطق فازی برای منظور نمودن عدم‌حتمیت در برنامه‌ریزی استفاده کرد (سنگوپتا و همکاران ۲۰۰۱).

از این روش در مطالعات تعیین الگوی کشت با اهداف گوناگون نظیر بهینه‌سازی بازده ناخالص (عبدشاهی و همکاران ۲۰۲۰)، کمینه‌سازی استفاده از نهاده‌های شیمیایی و آب (مردانی نجف آبادی ۲۰۱۹)، توجه به اهمیت نگرش زیست محیطی بر اکوسیستم (مرزبان و همکاران ۲۰۲۱) و کاهش مصرف نهاده‌های آب، کود شیمیایی و سموم شیمیایی (ال گافی و همکاران ۲۰۱۷) و کاهش مصرف انرژی در بخش کشاورزی (مرزبان و همکاران ۲۰۲۱) استفاده شده است. همچنین اسما و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از برنامه‌ریزی خطی به بهینه‌سازی الگوی کشت در کشور مصر پرداختند. نتایج نشان داد که سود خالص ۶/۱۸ درصد افزایش یافته است و سطح زیر کشت محصولات ذرت، برنج، سیب‌زمینی و روغن خوراکی کاهش و سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی افزایش می‌یابد و سطح زیر کشت محصولات پنبه، سورگوم و لوبیا نیز بدون تغییر بود. هاو (۲۰۱۸) بهینه‌سازی الگوی کشت را با توجه به عدم اطمینان بودن قابلیت دسترسی آب و پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف آب را در کشور چین مورد بررسی قرارداد. نتایج این مطالعه نشان داد که اگر الگوی کشت بهینه شود، تخصیص آب بهینه شده برای ذرت بیشتر از سایر محصولات کشاورزی خواهد بود.

محیط به شمار می‌روند (پیراگوستینی و همکاران ۲۰۱۴). این نهاده‌ها از طریق اثر بر تخریب لایه اوزن، انتشار مواد سرطان‌زا (مرزبان و همکاران ۲۰۲۱) و انتشار گازهای گلخانه‌ای در اکوسیستم (مرزبان و همکاران ۲۰۲۰) خسارات بی‌شماری بر اقتصاد وارد می‌کنند.

از این رو متخصصین امر پیوسته در تلاشند تا با راهکارهای جدید، استفاده از نهاده‌های تولید را مدیریت کرده و برنامه‌های مدونی برای استفاده بهینه از آن‌ها ارائه دهند. به اعتقاد صاحب نظران مسئله کمبود آب و مصرف بی‌رویه نهاده‌ها در ایران تازگی ندارد، اما افزایش جمعیت به این مشکل دامن زده و شرایط نگران‌کننده‌ای را رقم زده است (احمدی و همکاران ۲۰۲۱). بدین ترتیب، باید نهاده‌های ورودی مختلف در بوم نظام‌های کشاورزی را بوسیله دامنه‌ای از مقیاس‌های مکانی از سطح مزرعه تا سطح ملی تجزیه و تحلیل کرد (رمضانی اعتدالی و همکاران ۲۰۱۹). مدیریت مناسب مزرعه و تنظیم الگوی کشت در هر منطقه، می‌تواند یکی از راهکارهای کاهش اثرات زیست محیطی و افزایش سود اقتصادی باشد (زمانی و همکاران ۲۰۲۱).

الگوی کشت بهینه عبارت از تعیین یک نظام کشاورزی دارای مزیت اقتصادی پایدار مبتنی بر سیاست‌های کلان کشور، دانش بومی کشاورزان و بهره‌گیری بهینه از پتانسیل‌های منطقه‌ای با رعایت اصول اکوفیزیولوژیک تولید محصولات کشاورزی در راستای حفظ محیط زیست می‌باشد (جولای و همکاران ۲۰۱۷). تعریف فوق به پتانسیل‌های منطقه‌ای در استفاده از عوامل تولید، نگرش متفاوتی از تعیین الگوی کشت و چگونگی ارتباط مناطق مختلف برای تولید محصولات کشاورزی اشاره می‌کند. ارائه الگوی کشتی که بتواند میزان مصرف کود، سموم شیمیایی و آب را کاهش بهینه نموده و در عین حال به درآمد کشاورزان لطمه زیادی وارد نکند، مورد نیاز می‌باشد (مردانی نجف آبادی و همکاران ۲۰۱۹).

بنابراین افزایش یا کاهش سطح زیر کشت محصولات مختلف کشاورزی باید با توجه به محدودیت منابع و

<sup>1</sup> Multi objective

که در آن  $n$ : حجم نمونه،  $N$ : حجم جمعیت آماری کشاورزان منطقه،  $Z$ : درصد خطای معیار ضریب اطمینان قابل قبول که ۹۵ درصد در نظر گرفته شد.  $P$ : نسبتی از جمعیت دارای صفت معین،  $q$ : نسبتی از جمعیت فاقد صفت معین،  $d$ : درجه اطمینان یا خطای استاندارد ۵ درصد است.

### برنامه‌ریزی چند هدفه

مطالعه حاضر به بررسی الگوی کشت مناسب محصولات زراعی در محدوده مورد مطالعه با هدف کاهش مصرف آب، کاهش ریسک و بهبود مدیریت منابع توأم با افزایش سود کشاورزان پرداخته است. مدل تصمیم‌گیری چندهدفه، برداری از متغیرهای تصمیم، توابع هدف و محدودیت‌ها را شامل می‌شود و هدف تصمیم‌گیر، بیشینه یا کمینه کردن توابع هدف است. از آن جایکه این مسایل به ندرت راه حل منحصر به فرد دارند، تصمیم‌گیر جوابی را از میان مجموعه جواب‌های کارا انتخاب می‌کند (مردانی نجف‌آبادی و همکاران ۲۰۱۹؛ دانت و همکاران ۲۰۱۸). در این مطالعه میزان آب مصرفی هر محصول در الگوی کشت محصولات منطقه، میزان آب خالص آبیاری ( $WR_{jm}^d$ )، با استفاده از نرم افزار Cropwat8 محاسبه شد (کو و همکاران ۲۰۰۶). داده‌های ورودی این نرم‌افزار علاوه بر یکسری اطلاعات موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه مورد بررسی عبارت از میانگین بیشینه و میانگین کمینه دما، میانگین رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین و ساعات آفتابی روزانه که به روش کمیتی به نام ETO را که معرف تبخیر و تعرق گیاه مرجع می‌باشد را به صورت ماهانه و سالانه محاسبه می‌نماید.

متغیرهای تصمیم در این مدل ریاضی شامل سطح زیرکشت ( $LV_j^d$ )، میزان آب آبیاری ( $WV_j^d$ )، سود خالص ( $NV_j^d$ )، ریسک‌پذیری ( $VTV_j^d$ )، مصرف کود شیمیایی ( $FRV_j^d$ ) و سموم شیمیایی ( $PEV_j^d$ ) می‌باشد (جدول ۲). برای بهینه‌سازی و اجرای مدل برنامه‌ریزی چند هدفه، اهداف متفاوتی از جمله بیشینه بازده برنامه‌ای ( $ObjectProfit_v$ )، کمینه مصرف آب ( $ObjectWv$ )، کمینه ریسک پذیری ( $ObjectVTV$ )، مصرف کود

بنابراین با توجه به مطالب بیان شده به ویژه شرایط خشک و بیابانی دشت سیستان با لحاظ کردن حداکثر سود خالص، کاهش ریسک و محدودیت‌های زمین و آب برای تخصیص بهینه به محصولات کشاورزی برای ارائه الگوی کشت مناسب، از مزیت قابل توجهی برخوردار است. در مطالعه حاضر، با توجه به اهمیت تعیین الگوی کشت در شرایط نامطمئن شهرستان زابل از روش برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه استفاده شده است. در واقع، امکان برقراری مصالحه بین اهداف افزایش بازده ناخالص، کاهش مصرف آب، کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی به عنوان مشکلات زیست محیطی و کاهش ریسک بررسی شده است.

### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت سیستان با وسعت ۱۶۸۵۹ کیلومتر مربع از آبرفت‌های رودخانه هیرمند برآمده است (لواسانی و همکاران ۲۰۱۵). دشت سیستان بین ۳۱ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۶). از نظر اقلیمی این دشت در تیپ اقلیم خشک بیابانی قرار دارد و متوسط بارندگی سالیانه آن کمتر از ۶۵ میلی‌متر است (دین‌پژوه ۲۰۱۰). در عین حال میزان تبخیر و تعرق پتانسیل آن قریب به ۵۰۰۰ میلی‌متر در سال است (حسین زاده ۱۹۹۷). این شرایط در مجموع باعث خشکی طبیعی این سرزمین گردیده و در صورت کاهش آب ورودی هیرمند، خشکسالی‌های مخرب در آن به وقوع می‌پیوندد.

داده‌های مورد نیاز پژوهش، از طریق بررسی نشریه‌ها، سالنامه‌های آماری کشاورزی سال ۲۰۲۰-۲۰۱۹ و مصاحبه با کارشناسان شهرستان‌ها و بررسی میدانی و تکمیل پرسشنامه از کشاورزان منطقه گردآوری شد. برای تعیین حجم نمونه از فرمول کوکران استفاده شد (معادله ۱).

$$n = \frac{z^2 pq}{d^2} \left( 1 + \frac{1}{N} \left( \frac{z^2 pq}{d^2} - 1 \right) \right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

الگوی برنامه‌ریزی تک هدفه مشروط بر محدودیت‌ها (روابط ۲ تا ۱۱) و توابع هدف تعیین گردیدند (جدول ۱ و ۲).

۱- پیشینه‌سازی سود خالص حاصل از فعالیت‌های کشاورزی برای کلیه مناطق تحت بررسی که بصورت زیر فرموله می‌شود:

$$Z_1: \text{Object Profit}_v = \sum_{d=1}^d NV_j^d \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$\text{NetV}_j^d = LV_j^d \text{NetBenefit}_j^d \quad (\text{رابطه ۳})$$

۲- کمینه‌سازی آب آبیاری کلیه مناطق تحت بررسی یکی از اهداف زیست محیطی می‌باشد.

$$Z_2: \text{Object Wv} = \sum_{d=1}^d \sum_{j=1}^j \sum_{m=1}^m WV_j^d \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$WV_{jm}^d = \left( \frac{NWR_{jm}^d}{\text{WaterEff}_j^d} \right) LV_j^d \quad \forall d, j, m \quad (\text{رابطه ۵})$$

۳- کمینه‌سازی ریسک‌پذیری کلیه مناطق تحت بررسی می‌باشد.

$$Z_3: \text{Object VTv} = \sum_{d=1}^d \sum_{j=1}^j VTV_j^d \quad (\text{رابطه ۶})$$

با توجه به اهمیت ارائه الگویی که هدف حداقل ریسک را تامین نماید واریانس درآمد مورد استفاده قرار گرفت. واریانس درآمد حاصل از محصول  $i$  با بازده تاخالص  $R_i$  را می‌توان بصورت زیر نوشت (فرانسیسکو و مبارک ۲۰۰۶):

$$VT = \sum \sum \sigma_{ij} x_i x_j \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

که در آن ماتریس واریانس-کواریانس بازده حاصل از تولید  $i$  و  $x_i$  سطح فعالیت محصول  $i$  است.

$$VTV_j^d = LV_j^d \text{Yield}_j^d VT_j^d \quad (\text{رابطه ۷})$$

۴- کمینه‌سازی مصرف کود شیمیایی کلیه مناطق تحت بررسی یکی از اهداف زیست محیطی می‌باشد.

$$Z_4: \text{Object FRv} = \sum_{d=1}^d \sum_{j=1}^j FRV_j^d \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$FRV_j^d = LV_j^d \text{Yield}_j^d FR_j^d \quad (\text{رابطه ۹})$$

۵- کمینه‌سازی سموم شیمیایی کلیه مناطق تحت بررسی یکی از اهداف زیست محیطی می‌باشد.

$$Z_5: \text{Object PEv} = \sum_{d=1}^d \sum_{j=1}^j PEV_j^d \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$PEV_j^d = LV_j^d \text{Yield}_j^d PE_j^d \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

شیمیایی ( $\text{Object FRv}$ ) و مصرف سموم شیمیایی ( $\text{Object PEv}$ ) در مدل کشت ارائه شده، که در ادامه شرح داده شده است (جدول ۲).

الف) توابع هدف مدل تدوین الگوی کشت:

بیشینه سود ( $Z_1$ )، کمینه مصرف آب ( $Z_2$ )، کمینه ریسک‌پذیری ( $Z_3$ )، کمینه مصرف کود شیمیایی ( $Z_4$ ) و کمینه سموم شیمیایی ( $Z_5$ ) است. این مقادیر در قالب یک

وجود ریسک در کشاورزی بر تصمیمات کشاورزان اثر گذاشته و باعث بروز ناکارایی فنی و تخصیصی در به کارگیری عوامل تولید می‌شود. لذا لازم است در ارائه الگوهای تصمیم‌گیری به مساله ریسک نیز پرداخته شود. ایده استفاده واریانس از درآمد به عنوان معیاری از ریسک از قدمت زیادی برخوردار است. در این بررسی

جدول ۱- فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف پارامترها

شماره معادله	شرح	نماد
	سود خالص شرایط کنونی برای کشت محصول z برای شهرستان d	$NetBenefit_j^d$
	مقدار آب خالص مورد نیاز برای کشت یک هکتار از محصول z برای شهرستان d	$NWR_{jm}^d$
	راندمان آبیاری محصول z در شهرستان d	$WaterEff_j^d$
	ریسک‌پذیری شرایط کنونی برای کشت محصول z برای شهرستان d	$VT_j^d$
	میزان مصرف کود شیمیایی شرایط کنونی برای کشت محصول z برای شهرستان d	$FR_j^d$
	میزان مصرف سموم شیمیایی شرایط کنونی برای کشت محصول z برای شهرستان d	$PE_j^d$
	میزان عملکرد شرایط کنونی برای کشت محصول z برای شهرستان d	$Yield_j^d$
	ضریب کاربری زمین برای محصول z، ماه m در شهرستان d	$LandSch_{jm}^d$
	مقدار زمین قابل کشت در شهرستان d محصولات	$LandRHS Irrigated^d$
	مقدار آب ناخالص مورد نیاز برای کشت یک هکتار از محصول z برای شهرستان d	$WR_{jm}^d$
	مقدار آب قابل دسترس در ماه m برای شهرستان d	$WaterRHS_m^d$

(ب) محدودیت‌های مدل:

مجموعه محدودیت‌های مدل به سه قسمت اصلی محدودیت منابع تولید (آب آبیاری، زمین)، محدودیت‌های اقتصادی و محدودیت‌های بیشینه و کمینه سطح زیر کشت محصولات کشاورزی می‌باشد (جدول ۲). معادله‌های مجموعه محدودیت در نظر گرفته شده برای این مطالعه عبارتند از:

$$\sum_{j=1}^j LandSch_{jm}^d Land\_Cl_{Irrigated} V_j^d \leq LandRHS Irrigated^{d2} \quad \forall d, m \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

۱- مجموعه محدودیت مربوط به مقدار زمین قابل دسترس: در این مجموعه محدودیت مقدار کل زمین تخصیص داده شده به محصولات نباید از کل زمین قابل کشت برای محصولات برای هر شهرستان (در هر منطقه) و در هر ماه بیشتر باشد.

۲- مجموعه محدودیت مربوط به آب در منطقه: در این مجموعه محدودیت‌ها به موازنه سطوح متفاوت میزان مصرف آب آبیاری به تفکیک ماه، شهرستان، محصول و

$$Water\_Cl\_V_{jm}^d \leq WaterRHS_m^d \quad \forall d, m \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

۳- مجموعه مربوط به عوامل اقتصادی: در این مجموعه محدودیت سود خالص نباید از سود خالص شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه کمتر شود.

$$NV_j^d \geq \sum_{d=1}^d NetBenefit^d \quad \forall d \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

مستند نیست. وابسته به ترجیحات تصمیم‌گیر، وزن‌هایی بر حسب اهمیت اهداف رقیب به معیارهای تصمیم‌گیری داده می‌شود (چاکرابورتی و همکاران ۲۰۰۲). با فرض اینکه  $n \in [1, N]$  مناطق (شهرستان‌ها) و  $z \in [1, M]$  که z شماره معیار (هدف) مورد نیاز را مشخص می‌کند و

پس از مشخص شدن الگوی مورد استفاده برای بهینه‌سازی فعالیت‌ها در چارچوب تامین آرمان‌های یاد شده، باید محدودیت‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری برای رسیدن به اهداف مشخص در هر گزینه را مشخص کرد. به طور کلی، این فرآیند ذهنی است و کاملاً مشخص و

جدول ۲- فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف مجموعه‌ها و متغیرها

شماره معادله	شرح	نماد	نوع
	سطح دوم تقسیمات سیاسی (شهرستان)	$d \in \{1, 2, \dots, D\}$	
	گروه اصلی محصولات	$j \in \{1, 2, \dots, j\}$	مجموعه
	ماه‌های سال	$m \in \{1, 2, \dots, m\}$	
	تابع هدف مربوط به سود خالص کل در الگو	$ObjectProfit_v$	
	تابع هدف مربوط به میزان آب آبیاری	$ObjectWv$	
	تابع هدف مربوط به ریسک‌پذیری	$ObjectVTv$	
	تابع هدف مربوط به مصرف کود شیمیایی	$ObjectFRv$	
	تابع هدف مربوط به مصرف سموم شیمیایی	$ObjectPEv$	
	مقدار آب تخصیص داده شده به ماه m برای شهرستان d	$WV_{jm}^d$	متغیر
	سود خالص کل برای کشت محصول z برای شهرستان d	$NV_j^d$	
	ریسک‌پذیری برای کشت محصول z برای شهرستان d	$VTV_j^d$	
	مصرف کود شیمیایی برای کشت محصول z برای شهرستان d	$FRV_j^d$	
	مصرف سموم شیمیایی برای کشت محصول z برای شهرستان d	$PEV_j^d$	
	مقدار زمین تخصیص داده شده به محصول z در شهرستان d به محصولات آبی	$Land\_Cl_{Irrigated}V_j^d$	

توابع یاد شده توابعی افزایشی از درجه برخورداری الگو بوده و مقادیر بین صفر و یک اختیار می‌کنند. در مطالعه حاضر این توابع عضویت برای رتبه‌بندی اهداف مدنظر بهره‌برداران مطالعه جاری استفاده شد و با استفاده از روش میانگین وزنی هندسی برای توابع عضویت اهداف مناطق بصورت زیر تعیین گردید:

$$\lambda(i) = \sum_{j=1}^M W_j \lambda_j(i) \quad (\text{رابطه ۱۷})$$

مقادیر وزن اهداف باید بیشینه و کمینه باشد و بر این اساس، وزن اهداف بصورت زیر تعریف می‌گردد (چیاپرو ۱۹۹۶):

$$W_j = \ln\left(\frac{1}{\lambda_j}\right) / \sum_{j=1}^m \ln\left(\frac{1}{\lambda_j}\right) \quad (\text{رابطه ۱۸})$$

در روابط فوق  $w_j$  تابعی معکوس از میانگین سطح اهداف نسبت به z است. تابع لگاریتمی نیز بیانگر آن است که اولویت هر الگوی بهینه تابعی غیر خطی از اهداف مورد استفاده است.

به دلیلی غیر خطی بودن تابع هدف، از روش برنامه‌ریزی غیرخطی برای حل آن استفاده شد. به این ترتیب، با توجه به فازی‌سازی اهداف مطالعه و تلاش تحقق یک آرمان کلی براساس بیشینه کردن مقدار تابع مسافت مرکب آرمانی آن‌ها، ساختار مدل تصمیم‌گیری به شکل یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی فازی چند هدفه که امکان مصالحه چند هدف را بطور توأم، مشروط بر محدودیت منابع فراهم می‌نماید طراحی شد. شایان ذکر است که

همچنین  $Z_j^n$  مقداری است که معیار z برای بهره‌بردار n اختیار می‌کند، آنگاه روش کار برای به دست آوردن تابع عضویت شاخص z را برای منطقه n در شرایطی که کمترین مقدار شاخص به عنوان حد آرمانی در نظر گرفته می‌شود (در اینجا، بیشینه‌سازی سود، و کمینه‌سازی آب، ریسک‌پذیری، مصرف کود شیمیایی و سموم) را می‌توان بصورت زیر تعریف نمود (برنگر و وردیه-چوشان ۲۰۰۷):

$$\lambda_j(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_j^n \leq Z_j^{\min}, \\ \frac{Z_j^{\max} - Z_j^n}{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}} & \text{if } Z_j^{\max} \leq Z_j^n \leq Z_j^{\min}, \\ 0 & \text{if } Z_j^n \geq Z_j^{\min}, \end{cases}$$

(رابطه ۱۵)

که در آن تابع  $\lambda(n)$  درجه برخورداری n امین بهره‌بردار را نسبت به معیار z اندازه‌گیری می‌کند. به همین ترتیب اگر بیشترین مقدار اهداف به عنوان حد آرمانی تعریف شود (در اینجا، بازده برنامه‌ای) تابع عضویت  $\lambda(n)$  به صورت زیر تعریف خواهد شد:

$$\lambda_j(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_j^n \leq Z_j^{\max}, \\ \frac{Z_j^n - Z_j^{\min}}{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}} & \text{if } Z_j^{\min} \leq Z_j^n \leq Z_j^{\max}, \\ 0 & \text{if } Z_j^n \geq Z_j^{\min}, \end{cases}$$

(رابطه ۱۶)

وزن‌های در نظر گرفته شده جهت حل الگوی برنامه‌ریزی چند هدفه با استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان بخش کشاورزی و شیوه تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برآورد گردیدند (مردانی و نجف آبادی ۲۰۱۹). در نهایت الگوریتم‌های ریاضی الگوی برنامه‌ریزی منطقه‌ای مورد استفاده در محیط بسته نرم افزاری GAMS توسعه داده شد (گمز ۲۰۱۰).

### نتایج و بحث

**تعیین الگوی کشت مناسب در اراضی منطقه سیستان**  
بررسی الگوی کشت چند هدفه شهرستان‌های زابل، زهک، هیرمند، نیمروز و هامون نشان می‌دهد که در سطح زیر کشت گندم و خربزه در منطقه افزایش رخ داده است (جداول ۳ تا ۷). این افزایش سطح زیر کشت می‌تواند به دلیل مصرف کمتر سموم و کود شیمیایی نسبت به سایر محصولات و همچنین خرید تضمینی گندم توسط دولت و سود بالاتر خربزه باشد. البته در الگوی کمینه‌سازی نیاز آبی و کمینه‌سازی کود و سموم شیمیایی سطح زیر کشت گندم نسبت به وضع موجود با کاهش مواجه شده است. سطح زیر کشت هندوانه در الگوهای حداکثر سود و حداقل مصرف آب آبیاری کاهش و در الگوهای حداقل ریسک، مصرف کود شیمیایی و سموم شیمیایی ثابت مانده است. از دلایل احتمالی آن پایین بودن سودخالص هندوانه، بالا بودن نیاز آبی و مصرف کمتر کود و سموم شیمیایی آن در مقایسه با دیگر محصولات الگو است. همچنین سطح زیر کشت سورگوم در همه الگوها با کاهش صد درصدی همراه بوده است. یکی از دلایل احتمالی آن پایین بودن قیمت فروش سورگوم و بالا بودن نیاز آبی آن در مقایسه با دیگر محصولات الگو است. سطح زیر کشت خربزه در همه الگوهای هدف با افزایش مواجه شده است. دلیل آن احتمالاً بالا بودن بازده ناخالص خربزه در مقایسه با دیگر محصولات قابل کشت در منطقه است. از دیگر موارد قابل توجه در الگوی پیشنهادی این شهرستان‌ها کاهش ۱۰۰ درصدی سطح زیر کشت جو، سورگوم و هندوانه در الگوی چندهدفه می‌باشد. کاهش در الگوی کشت چند هدفه برای سورگوم برای حالت کمینه‌سازی مصرف آب آبیاری، کود و سموم شیمیایی، ریسک و بیشینه بازده برنامه‌ای بوده

که بیان‌کننده بالا بودن نیاز آبی، ریسک، مصرف کود و سموم شیمیایی و پایین بودن سود این محصول در منطقه می‌باشد؛ و همچنین در این شهرستان‌ها هندوانه و خربزه نسبت به سایر محصولات در منطقه از نیاز آبی بیشتری برخوردارند. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین مصرف کود و سموم شیمیایی در این شهرستان‌های مربوط به هندوانه و خربزه بود. به طور کلی، نتایج مطالعه الگوی کشت جاری در شهرستان‌های مورد بررسی، نشان دهنده لزوم مدیریت منابع آب، مصرف کودها و سموم شیمیایی در این منطقه می‌باشد به گونه‌ای که میزان مصرف آب، کود و سموم شیمیایی کاهش یابد و در عین حال سود بیشتری نصیب کشاورز شود؛ بنابراین مدیریت الگوی کشت در دشت سیستان با محوریت کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی و بیشینه‌سازی سود مطرح می‌شود. از آنجایی که استفاده از کودها و سموم در بخش کشاورزی باعث افزایش اثرات مخرب زیست محیطی از جمله اثرات اکوسیستمی بسیار زیادی شده است (مرزبان و همکاران، ۱۳۹۹). هر چه مصرف نهاده‌ها در مزارع بیشتر باشد اثرات زیست محیطی و اثر بر سلامت انسان به بیشتر خواهد بود (مرزبان و همکاران ۲۰۲۰؛ مرزبان و همکاران ۱۳۹۹). بنابراین، با اجرای الگوی کشت مصرف نهاده‌های شیمیایی در هر منطقه کاهش می‌یابد، که این امر در بهینه‌سازی الگوی کشت اولاً باعث بهینه‌سازی مصرف نهاده‌های شیمیایی و سوخت‌های فسیلی شده و در این حال این منبع ارزشمند برای آیندگان حفظ می‌شود (یوسفی و همکاران ۲۰۱۶؛ محمدی و همکاران ۲۰۱۴). همچنین در بهینه‌سازی الگوی کشت، کنترل مصرف نهاده‌ها بیشتر شده که خود باعث صرفه جویی اقتصادی شده و به حفظ محیط‌زیست و جلوگیری از تغییر آب و هوایی کمک می‌کند (مرزبان، ۱۳۹۹). نتایج برنامه‌ریزی نشان می‌دهد که در الگوی بهینه کشت، سهم سطح زیر کشت محصولاتی که مصرف آب، کود و سموم شیمیایی کمتر دارند و همچنین سود بیشتر دارند در منطقه زیاد می‌شود.



جدول ۳- سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در الگوی کشت شهرستان زابل به تفکیک اهداف مورد مطالعه (واحد: هکتار)

MOP	MPE	MFR	MVT	MAW	MNB	Current	محصول
۶۸۳۶	۴۳۰۴	۴۳۰۴	.	۴۳۰۴	۶۵۰۰	۶۵۰۰	گندم
.	.	.	۷۱۰۰	.	۶۰۰	۶۰۰	جو
.	.	.	.	.	.	۱۹۳۱	سورگوم
۱۵۶۴	۱۱۶۰	۱۱۶۰	۸۱۹	۱۱۶۰	۱۵۶۴	۲۵۰	خربزه
.	۳۴۰	۳۴۰	۳۴۰	۳۴۰	.	۳۴۰	هندوانه
۸۴۰۰	۵۸۰۵	۵۸۰۵	۸۲۵۹	۵۸۰۵	۸۶۶۴	۹۶۲۱	کل

Current: الگوی کشت جاری، MNB: حداکثر سازی سود خالص، MAW: حداقل سازی نیاز آبی، MVT: حداقل سازی ریسک، MFR: حداقل سازی کود شیمیایی، MPE: حداقل سازی سموم شیمیایی، MOP: برنامه ریزی چند هدفه

جدول ۴- سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در الگوی کشت شهرستان زهک به تفکیک اهداف مورد مطالعه (واحد: هکتار)

MOP	MFR	MPE	MVT	MAW	MNB	Current	محصولات
۱۱۱۲۸	۹۹۱۸	۱۱۰۰۰	۵۳۶۲	۵۲۱۴	۱۱۰۰۰	۱۱۰۰۰	گندم
.	.	۵۵۰	۵۸۲۲	۵۹۶۰	۵۵۰	۵۵۰	جو
.	.	۱۰۹۶	.	.	.	۱۰۹۶	سورگوم
۲۱۰۸	۱۵۱۵	۹۹۸	۱۵۱۵	۲۱۰۸	۲۱۰۸	۹۹۸	خربزه
.	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	.	.	۵۰۰	هندوانه
۱۳۲۳۶	۱۱۹۳۲	۱۴۱۴۴	۱۳۱۹۸	۱۳۲۸۲	۱۳۶۵۸	۱۴۱۴۴	کل

Current: الگوی کشت جاری، MNB: حداکثر سازی سود خالص، MAW: حداقل سازی نیاز آبی، MVT: حداقل سازی ریسک، MFR: حداقل سازی کود شیمیایی، MPE: حداقل سازی سموم شیمیایی، MOP: برنامه ریزی چند هدفه

جدول ۵- سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در الگوی کشت شهرستان نیمروز به تفکیک اهداف مورد مطالعه (واحد: هکتار)

MOP	MFR	MPE	MVT	MAW	MNB	Current	محصولات
۱۲۲۰۲	۱۰۸۱۰	۱۲۰۰۰	۲۲۶۴	۲۲۶۴	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	گندم
.	.	۵۰۰	۱۰۹۲۰	۱۰۹۲۰	۵۰۰	۵۰۰	جو
.	.	۱۱۴۶	.	.	.	۱۱۴۶	سورگوم
۹۸۷	۶۹۰	۱۵۰	۶۹۰	۶۹۰	۹۸۷	۱۵۰	خربزه
.	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	.	۲۵۰	هندوانه
۱۳۱۸۹	۱۱۷۵۰	۱۴۰۴۶	۱۴۱۲۴	۱۴۱۲۴	۱۳۴۸۷	۱۴۰۴۶	کل

Current: الگوی کشت جاری، MNB: حداکثر سازی سود خالص، MAW: حداقل سازی نیاز آبی، MVT: حداقل سازی ریسک، MFR: حداقل سازی کود شیمیایی، MPE: حداقل سازی سموم شیمیایی، MOP: برنامه ریزی چند هدفه

جدول ۶- سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در الگوی کشت شهرستان هیرمند به تفکیک اهداف مورد مطالعه (واحد: هکتار)

MOP	MPE	MFR	MVT	MAW	MNB	Current	محصولات
۵۵۲۰	۲۰۷۶	۵۵۲۰	.	.	۴۸۰۰	۴۸۰۰	گندم
.	.	.	۷۰۸۶	۲۹۷۶	۱۷۸۰	۱۷۸۰	جو
.	.	۲۳۱۳	.	.	.	۲۸۰۰	سورگوم
۸۹۰۸	۸۹۰۸	۴۰۳۹	۴۲۵۳	۵۱۲۹	۸۹۰۸	۳۸۰۹	خربزه
.	.	۳۱۸۴	۳۱۸۴	۳۱۸۴	.	۳۱۸۴	هندوانه
۱۴۴۲۸	۱۰۹۸۴	۱۵۰۵۶	۱۴۵۲۳	۱۱۲۸۸	۱۵۴۸۸	۱۶۳۷۳	کل

Current: الگوی کشت جاری، MNB: حداکثر سازی سود خالص، MAW: حداقل سازی نیاز آبی، MVT: حداقل سازی ریسک، MFR: حداقل سازی کود شیمیایی، MPE: حداقل سازی سموم شیمیایی، MOP: برنامه ریزی چند هدفه

جدول ۷- سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در الگوی کشت شهرستان هامون به تفکیک اهداف مورد مطالعه (واحد: هکتار)

محصولات	Current	MNB	MAW	MVT	MPE	MFR	MOP
گندم	۱۱۰۰۰	۱۱۰۰۰	۶۷۰	۶۷۰	۱۱۴۰۵	۱۰۳۵۳	۱۱۴۰۵
جو	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۲۳۷۲	۱۲۳۷۲	۰	۰	۰
سورگوم	۱۰۳۶	۰	۰	۰	۷۶۲	۰	۰
خربزه	۱۰۰	۷۰۷	۵۸۸	۵۸۸	۲۲۹	۵۸۸	۷۰۷
هندوانه	۱۰۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰
کل	۱۳۲۳۶	۱۲۷۰۷	۱۳۷۳۱	۱۳۷۳۱	۱۲۴۹۶	۱۱۰۴۱	۱۲۱۱۲

Current: الگوی کشت جاری، MNB: حداکثر سازی سود خالص، MAW: حداقل سازی نیاز آبی، MVT: حداقل سازی ریسک، MFR: حداقل سازی کود شیمیایی، MPE: حداقل سازی سموم شیمیایی، MOP: برنامه ریزی چند هدفه

### متغیرهای مهم در تعیین الگوی کشت اراضی دشت سیستان

میزان سود ناخالص در همه الگوها غیر از الگوی پیشینه سازی سود ناخالص و برنامه ریزی چند هدفه در شهرستان های مورد مطالعه مانند الگوی جاری باقی مانده است. در الگوی پیشینه سازی سود ناخالص، شاخص سود نسبت به الگوی جاری افزایش یافت (جدول ۸-۱۲). به طوری که با در نظر گرفتن الگوی پیشینه سازی سود در شهرستان زابل میزان مصرف آب و کود به ترتیب ۱۵ و ۸/۷ درصد نسبت به الگوی جاری کاهش و میزان سود حدود ۲۷ درصد افزایش می یابد. همچنین مصرف سموم شیمیایی نسبت به وضع موجود کاهش یافته است و میزان ریسک کشاورزان حدود ۲۰ درصد افزایش یافته است (جدول ۸).

در شهرستان زهک با در نظر گرفتن الگوی پیشینه سازی سود میزان مصرف آب و کود به ترتیب حدود ۴ و ۶ درصد نسبت به وضع موجود کاهش و میزان سود حدود ۹ درصد افزایش می یابد، همچنین مصرف سموم شیمیایی نسبت به وضع موجود افزایش و میزان ریسک کشاورزان حدود ۲۱ درصد افزایش یافته است (جدول ۹). همچنین با در نظر گرفتن الگوی پیشینه سازی سود در شهرستان نیمروز میزان مصرف آب و کود به ترتیب حدود ۷ و ۶ درصد نسبت به الگوی

جاری کاهش و مقدار سود حدود ۱۱ درصد افزایش می یابد. همچنین مصرف سموم شیمیایی نسبت به وضع موجود افزایش یافته است و میزان ریسک کشاورزان حدود ۲۰ درصد افزایش یافته است (جدول ۱۰). با در نظر گرفتن الگوی پیشینه سازی سود در شهرستان هامون میزان مصرف آب و کود به ترتیب ۷/۳ و ۷/۸ درصد در مقایسه با الگوی جاری کاهش و مقدار سود حدود ۱۰ درصد افزایش می یابد. همچنین مصرف سموم شیمیایی نسبت به وضع موجود افزایش یافته است و میزان ریسک کشاورزان حدود ۳۷ درصد افزایش یافته است (جدول ۱۱). در شهرستان هیرمند با در نظر گرفتن الگوی پیشینه سازی سود میزان مصرف آب و کود به ترتیب حدود ۷ و ۵ درصد نسبت به الگوی کشت جاری کاهش و میزان سود حدود ۱۱ درصد افزایش می یابد. همچنین مصرف سموم شیمیایی و میزان ریسک کشاورزان (حدود ۳۷) نسبت به وضع موجود افزایش یافته است (جدول ۱۲). با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت که تعیین الگوی بهینه کشت در دشت سیستان با افزایش درآمد زارعان، کاهش مصرف آب و کودهای شیمیایی همراه است؛ بنابراین با در نظر گرفتن اهداف پیشینه بازده برنامه و کاهش مصرف نهاده ها به طور هم زمان می توان علاوه بر کمک به افزایش درآمد زارعین، آسیب رسیدن به محیط زیست را با طراحی الگوی بهینه کشت در این منطقه کاهش داد.

جدول ۸- متغیرهای مهم در تعیین الگوی کشت شهرستان زابل به تفکیک اهداف مورد مطالعه

متغیر	Current	MNB	MAW	MVT	MPE	MFR	MOP
NB (ده هزار ریال)	۱۷۸۳۴۱۸۴	۲۲۶۲۵۹۹۵	۱۷۸۳۴۱۸۴	۱۷۸۳۴۱۸۴	۱۷۸۳۴۱۸۴	۱۷۸۳۴۱۸۴	۲۲۳۸۸۲۷۵
AW (۱۰۰۰ m <sup>3</sup> )	۵۵۵۹۳/۱۷	۴۷۲۶۵/۱۸	۳۶۹۰۳/۵۵	۳۸۹۹۶/۴۶	۳۶۹۰۳/۵۵	۳۶۹۰۳/۵۵	۴۶۵۹۹/۹
VT (ده هزار ریال)	۳۷۷۳۳۴۸	۵۶۵۳۸۹۴	۴۵۰۱۹۰۹	۲۹۹۷۶۵۰	۴۵۰۱۹۰۹	۴۵۰۱۹۰۹	۵۷۰۶۶۱۲
PE(kg)	۱۰۰۵۵	۱۲۰۰۲/۳۵	۸۳۸۰/۹۱۳	۱۱۱۹۳/۴۵	۸۳۸۰/۹۱۳	۸۳۸۰/۹۱۳	۱۱۶۷۲/۳۵
FR(kg)	۲۷۱۶۳۵۰	۲۴۷۸۶۵۵	۱۷۵۱۱۹۰	۲۲۹۶۶۵۱	۱۷۵۱۱۹۰	۱۷۵۱۱۹۰	۲۴۱۲۶۵۵
کل	۲۴۳۸۹۵۳۱	۳۰۸۱۷۸۱۱	۲۴۱۲۲۵۶۸	۲۳۱۷۸۶۷۴	۲۴۱۲۲۵۶۸	۲۴۱۲۲۵۶۸	۳۰۵۶۵۸۱۴

Current: الگوی کشت جاری، MNB: حداکثر سازی سود خالص، MAW: حداقل سازی نیاز آبی، MVT: حداقل سازی ریسک، MFR: حداقل سازی کود شیمیایی، MPE: حداقل سازی سموم شیمیایی، MOP: برنامه ریزی چند هدفه NB: سود خالص، AW: نیاز آبی، VT: ریسک، FR: کود شیمیایی، PE: سموم شیمیایی

۸)، در شهرستان زهک با کاهش حدود ۲۲ درصدی (جدول ۹)، در شهرستان هیرمند و هامون با کاهش ۲۰ درصدی (جدول ۱۱ و ۱۲)، در شهرستان نیمروز با کاهش حدود ۱۹ درصدی (جدول ۱۰)، مصرف آب نسبت به الگوی کشت جاری همراه بود.

در تمامی الگوهای شهرستان‌های مورد مطالعه امکان کم کردن مصرف آب آبیاری وجود دارد. به طوری که بیشترین میزان کاهش مصرف آب در منطقه مورد مطالعه به هدف کمینه‌سازی آب و ریسک مربوط بود که در شهرستان زابل با کاهش ۲۰ درصدی (جدول

جدول ۹- متغیرهای مهم در تعیین الگوی کشت شهرستان زهک به تفکیک اهداف مورد مطالعه

متغیر	Current	MNB	MAW	MVT	MPE	MFR	MOP
NB (ده هزار ریال)	۳۱۳۶۰۹۸۲	۳۴۱۲۴۰۶۶	۳۱۳۶۰۹۸۲	۳۱۳۶۰۹۸۲	۳۱۳۶۰۹۸۲	۳۱۳۶۰۹۸۲	۳۳۵۸۵۳۲۹
AW (۱۰۰۰ m <sup>3</sup> )	۱۱۱۷۱۳	۱۰۷۱۲۴	۸۶۷۳۶	۸۷۰۳۲	۱۱۱۷۱۳	۹۷۲۷۹	۱۰۵۹۷۳
VT (ده هزار ریال)	۶۸۶۰۳۴۳	۸۲۹۹۸۶۹	۶۹۶۱۵۵۵	۶۳۸۹۶۵۸	۶۸۶۰۳۴۳	۷۳۰۶۸۶۰	۸۲۹۱۷۶۵
PE(kg)	۳۶۴۰۰	۵۴۴۹۰	۵۴۰۱۹	۴۵۷۵۷	۳۶۴۰۰	۴۴۱۷۴	۵۳۹۶۲
FR(kg)	۲۳۴۷۶۰۰	۳۱۵۳۲۰۲	۳۰۷۷۹۷۹	۳۰۴۲۵۳۴	۲۳۴۷۶۰۰	۲۷۸۹۳۹۰	۳۰۶۸۷۵۴
کل	۴۱۷۱۷۰۳۷	۴۵۷۳۸۷۵۰	۴۱۵۴۱۲۷۲	۴۰۹۲۵۹۶۲	۴۱۷۱۷۰۳۷	۴۱۵۹۸۶۸۵	۴۵۱۰۵۷۸۳

Current: الگوی کشت جاری، MNB: حداکثر سازی سود خالص، MAW: حداقل سازی نیاز آبی، MVT: حداقل سازی ریسک، MFR: حداقل سازی کود شیمیایی، MPE: حداقل سازی سموم شیمیایی، MOP: برنامه ریزی چند هدفه NB: سود خالص، AW: نیاز آبی، VT: ریسک، FR: کود شیمیایی، PE: سموم شیمیایی

در شهرستان زابل کاهش مصرف کودهای شیمیایی در الگوی حداکثر سازی سود و الگوهای حداقل سازی نیاز آبی، ریسک، کود شیمیایی، سموم شیمیایی و برنامه ریزی چندهدفه مشاهده شد. بیشترین کاهش مصرف کود با ۲۰ و ۱۷ و ۲۶ درصد به ترتیب در مدل‌های کمینه کردن آب آبیاری، کمینه کردن سموم و کودهای شیمیایی بوده است (جدول ۸). در شهرستان نیمروز بیشترین کاهش مصرف کودهای شیمیایی در تمامی الگوها به جز الگوی کمینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی مشاهده

بیشترین میزان کاهش ریسک در شهرستان زابل، زهک و هیرمند نیز مربوط به الگوی کمینه‌سازی ریسک می‌باشد (۸، ۹ و ۱۲). بیشترین میزان کاهش ریسک در شهرستان نیمروز و هامون مربوط به الگوی کمینه‌سازی ریسک و کمینه‌سازی نیاز آبی می‌باشد (جدول ۱۰ و ۱۱). بنابراین نتایج این دو شهرستان نشان داد که رابطه نزدیک بین مصرف آب و میزان ریسک در نظام‌های کشاورزی وجود دارد. محدود کننده‌ترین عامل در الگوی چند هدفه نهاده آب است.

جدول ۱۰- متغیرهای مهم در تعیین الگوی کشت شهرستان نیمروز به تفکیک اهداف مورد مطالعه

متغیر	Current	MNB	MAW	MVT	MPE	MFR	MOP
NB(ده هزار ریال)	۲۵۶۵۶۰۰۴	۲۸۵۰۶۶۳۰	۲۵۶۵۶۰۰۴	۲۵۶۵۶۰۰۴	۲۵۶۵۶۰۰۴	۲۵۶۵۶۰۰۴	۲۸۱۷۰۲۴۶
AW (۱۰۰۰m <sup>3</sup> )	۷۲۴۲۸	۶۷۵۰۷	۵۸۱۴۷	۵۸۱۴۷	۷۲۴۲۸	۶۰۵۵۲	۶۶۷۸۶
VT(ده هزار ریال)	۴۸۷۶۹۹۶	۶۰۵۱۵۰۲	۳۶۱۱۵۸۳	۳۶۱۱۵۸۳	۴۸۷۶۹۹۶	۵۳۳۲۰۵۲	۶۰۷۱۱۱۱
PE(kg)	۳۲۲۰۰	۴۲۷۶۴	۴۳۲۹۰	۴۳۲۹۰	۳۲۲۰۰	۳۸۵۴۲	۴۲۱۶۸
FR(kg)	۳۱۳۸۴۰۰	۲۹۴۴۰۸۸	۳۰۵۹۸۳۸	۳۰۵۹۸۳۸	۳۱۳۸۴۰۰	۲۵۸۴۹۹۷	۲۸۸۴۵۵۰
کل	۳۳۷۷۶۰۲۸	۳۷۶۱۲۴۹۰	۳۲۴۲۸۸۶۳	۳۲۴۲۸۸۶۳	۳۳۷۷۶۰۲۸	۳۳۶۷۲۱۴۸	۳۷۲۳۴۸۶۱

Current: الگوی کشت جاری، MNB: حداکثر سازی سود خالص، MAW: حداقل سازی نیاز آبی، MVT: حداقل سازی ریسک، MFR: حداقل سازی کود شیمیایی، MPE: حداقل سازی سموم شیمیایی، MOP: برنامه ریزی چند هدفه NB: سود خالص، AW: نیاز آبی، VT: ریسک، FR: کود شیمیایی، PE: سموم شیمیایی

کودهای شیمیایی در شهرستان هامون با ۱۸، ۶ و ۷ درصد به ترتیب در مدل‌های کمینه کردن کودها و سموم شیمیایی و بیشینه کردن سود خالص بوده است (جدول ۱۱). در شهرستان هیرمند کاهش مصرف کودهای شیمیایی در تمامی الگوها مشاهده شد و بیشترین کاهش با ۷ و ۱۳ درصد به ترتیب در مدل‌های کمینه کردن نیاز آبی و کمینه کردن کودهای شیمیایی بوده است (جدول ۱۲).

شد و بیشترین کاهش با ۱۵ و ۱۰ درصد به ترتیب در مدل‌های کمینه کردن آب آبیاری و کمینه کردن کودهای شیمیایی بوده است (جدول ۹). همان طور که از بررسی جدول شماره ۱۰ مشخص است، کاهش مصرف کودهای شیمیایی در شهرستان نیمروز در تمامی الگوها مشاهده شد؛ و بیشترین کاهش با ۱۶ و ۷ درصد به ترتیب در مدل‌های کمینه کردن نیاز آبی و کودهای شیمیایی بوده است (جدول ۱۰). همچنین بیشترین کاهش مصرف

جدول ۱۱- متغیرهای مهم در تعیین الگوی کشت شهرستان هامون به تفکیک اهداف مورد مطالعه

متغیر	Current	MNB	MAW	MVT	MFR	MPE	MOP
NB(ده هزار ریال)	۲۳۰۳۴۶۶۴	۲۵۵۹۳۸۸۳	۲۳۰۳۴۶۶۴	۲۳۰۳۴۶۶۴	۲۳۰۳۴۶۶۴	۲۳۰۳۴۶۶۴	۲۴۹۲۱۱۱۴
AW (۱۰۰۰m <sup>3</sup> )	۶۵۴۹۸	۶۰۹۹۳	۵۲۱۵۸	۵۲۱۵۸	۶۲۸۵۴	۵۴۸۸۳	۵۹۵۵۲
VT(ده هزار ریال)	۴۲۳۴۷۹۳	۵۱۴۳۸۲۵	۲۷۸۳۲۳۸	۲۷۸۳۲۳۸	۴۴۸۲۲۶۲	۴۷۳۲۵۰۷	۵۱۸۳۰۴۴
PE(kg)	۱۶۷۵۰	۲۰۶۹۹	۳۰۰۰۱	۳۰۰۰۱	۱۶۱۵۹	۱۷۳۵۹	۱۹۲۰۵
FR(kg)	۲۸۹۴۴۰۰	۲۶۸۲۷۹۶	۲۸۸۳۸۶۱	۲۸۸۳۸۶۱	۲۷۱۷۴۱۴	۲۳۴۵۸۷۳	۲۵۶۳۷۲۱
کل	۳۰۲۴۶۱۰۵	۳۳۵۰۲۱۹۶	۲۸۷۸۳۹۲۲	۲۸۷۸۳۹۲۲	۳۰۳۱۳۳۵۴	۳۰۱۸۵۲۸۶	۳۲۷۴۶۶۳۵

Current: الگوی کشت جاری، MNB: حداکثر سازی سود خالص، MAW: حداقل سازی نیاز آبی، MVT: حداقل سازی ریسک، MFR: حداقل سازی کود شیمیایی، MPE: حداقل سازی سموم شیمیایی، MOP: برنامه ریزی چند هدفه NB: سود خالص، AW: نیاز آبی، VT: ریسک، FR: کود شیمیایی، PE: سموم شیمیایی

۵ درصد در شهرستان زهک، حدود ۸ درصد در شهرستان نیمروز، ۹ درصد در شهرستان هامون و حدود ۸ درصد در شهرستان هیرمند نسبت الگوی کشت جاری هر شهرستان کاهش یافت (جدول ۸-۱۲). و همچنین در الگوی MOP میزان مصرف کودهای شیمیایی ۱۱ درصد در زابل، حدود ۸ درصد در شهرستان زهک و نیمروز، حدود ۹ درصد در شهرستان هامون و هیرمند

در الگوی MOP شهرستان زابل میزان سود حدود ۲۵ درصد، در شهرستان زهک حدود ۷ درصد، در شهرستان نیمروز حدود ۱۰ درصد، در شهرستان هامون میزان سود ۷/۵ درصد، در شهرستان هیرمند میزان سود حدود ۱۰ درصد نسبت به الگوی کشت هر شهرستان افزایش یافت (جدول ۸-۱۲)، همچنین در این الگو میزان مصرف آب حدود ۱۶ درصد در شهرستان زابل، حدود

شهرستان‌ها مورد مطالعه مشخص کرد، نهاده آب محدود کننده‌ترین عامل در الگوی چند هدفه است، و همچنین نتایج نشان داد که رابطه نزدیک بین مصرف آب و میزان ریسک در نظام‌های کشاورزی وجود دارد. بنابراین راه‌حلی که به وسیله آن بتوان از مصرف نهاده‌های مصرفی در نظام‌های تولید کشاورزی کاست، با پایداری نظام تولید و افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها از جمله آب همراه خواهد بود (ساموئل فیتوی و همکاران ۲۰۱۲). بنابراین، اصلاح الگوی کشت در شهرستان مورد مطالعه که بر پایه کاهش اتکا به مصرف نهاده‌ها از جمله آب و کود شیمیایی باشد امری اجتناب‌ناپذیر است. همچنین لازم است تا برای به دست آوردن کارایی مصرف آب و کود و سود بالاتر در الگوی کشت و همچنین کم کردن ریسک و نهاده‌های شیمیایی سطح زیر کشت بیشتری را به جو نسبت به سایر محصولات از جمله سورگوم اختصاص داد.

نسبت به الگوی جاری کاهش یافت. بنابراین برای افزایش بهره‌وری مصرف آب و کود و افزایش سود در الگوی کشت و همچنین کاهش ریسک و مصرف نهاده‌های شیمیایی، سطح زیر کشت بیشتری را به جو و سورگوم نسبت به سایر محصولات از جمله سورگوم اختصاص داد.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اظهار کرد که تعیین الگوی بهینه کشت در دشت سیستان با بیشینه کردن درآمد کشاورزان، کاهش مصرف آب و کودهای شیمیایی همراه است. بنابراین با در نظر گرفتن اهداف بیشینه راندمان برنامه و کاهش مصرف نهاده‌ها به طور هم‌زمان می‌توان علاوه بر کمک به افزایش درآمد کشاورزان، آسیب به محیط زیست را با طراحی الگوی کشت بهینه در شهرستان‌های مورد مطالعه کاهش داد. همچنین در همه الگوها، امکان کم کردن مصرف آب آبیاری وجود دارد. همان‌طور که بررسی تمام

جدول ۱۲- متغیرهای مهم در تعیین الگوی کشت شهرستان هیرمند به تفکیک اهداف مورد مطالعه

متغیر	Current	MNB	MAW	MVT	MFR	MPE	MOP
NB(ده هزار ریال)	۶۱۹۱۵۷۰۸	۶۹۲۴۳۸۲۷	۶۱۹۱۵۷۰۸	۶۱۹۱۵۷۰۸	۶۱۹۱۵۷۰۸	۶۱۹۱۵۷۰۸	۶۸۰۴۶۲۹۹
AW (۱۰۰۰ m <sup>3</sup> )	۱۵۶۳۵۱	۱۴۵۴۸۲	۱۲۶۸۰۲	۱۲۸۳۶۹	۱۵۱۶۴۴	۱۲۷۷۷۶	۱۴۲۹۱۷
VT(ده هزار ریال)	۱۵۹۸۶۰۰۵	۲۱۹۷۴۷۷۹	۱۶۷۱۷۰۱۲	۱۵۰۷۸۲۸۰	۱۶۴۲۶۵۰۰	۲۰۹۶۶۲۹۴	۲۲۰۴۴۵۸۹
PE(kg)	۴۵۷۷۵	۷۱۹۱۳	۵۱۴۰۴	۵۳۴۹۳	۴۴۷۲۴	۶۴۹۴۹	۶۹۲۵۴
FR(kg)	۶۱۱۰۹۰۰	۵۷۶۹۸۱۶	۵۰۶۹۸۷۵	۵۴۵۲۹۷۹	۵۸۴۳۲۱۴	۴۸۶۹۰۲۲	۵۵۵۷۸۶۳
کل	۸۴۲۱۴۷۳۹	۹۷۲۰۵۸۱۹	۸۳۸۸۰۸۰۱	۸۲۶۲۹۸۲۸	۸۴۳۸۱۷۹۰	۸۷۹۴۳۷۵۸	۹۵۸۶۰۹۲۱

Current: الگوی کشت جاری، MNB: حداکثر سازی سود خالص، MAW: حداقل سازی نیاز آبی، MVT: حداقل سازی ریسک، MFR: حداقل سازی

کود شیمیایی، MPE: حداقل سازی سموم شیمیایی، MOP: برنامه ریزی چند هدفه

NB: سود خالص، AW: نیاز آبی، VT: ریسک، FR: کود شیمیایی، PE: سموم شیمیایی

## نتیجه‌گیری

یکی از مسائل مهم در منطقه سیستان بحث تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی با تأکید بر کاهش مصرف آب است. یافته‌های این تحقیق نشان داد که الگوی بهینه کشت (MOP)، ارائه شده با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چند هدفه با الگوی کشت جاری منطقه اختلاف دارد. به گونه‌ای که اگر کشاورزی رایج این مناطق بخواهد منابع را با الگوی کشت فعلی مصرف کند، بحران مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی بیشتر شده

و علاوه بر تغییرات محیطی و ایجاد مشکلاتی برای نسل فعلی و آینده، تولید مواد غذایی نیز محدود می‌شود. نتایج تعیین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی مناطق پنج‌گانه سیستان بر اساس صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌ها علی‌الخصوص آب، نشان داد، سطح زیر کشت محصولات گندم و خربزه افزایش و سطح زیر کشت جو، سورگوم و هندوانه کاهش می‌یابد. با توجه به این موضوع برای کاهش اثرات مخرب زیست محیطی در سیستان، سیاست‌های کلی باید به سمت افزایش سطح

وضعیت مناسبی از لحاظ اقتصادی برای منطقه فراهم آورد.

#### سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت مالی در چاپ مقاله که از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه زابل به شماره ۲۱-۹۷۱۹ تامین شده، سپاسگزاری می‌گردد.

زیر کشت محصولاتی همچون جو به باشد؛ زیرا میزان تولید محصولات کشاورزی یک منطقه باید با توجه به اهداف رسیدن به بیشینه سود و دریافت کمینه اثرات محیطی انجام شود. به بیان دیگر تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب گیاهان زراعی مناطق مختلف باید بر اساس هم مسائل محیطی و هم اقتصادی باشد. بنابراین تعیین الگوی بهینه کشت در منطقه می‌تواند به‌عنوان یک نگرش پایدار در مدیریت مصرف آب مطرح شود. تا

#### منابع مورد استفاده

- Abdeshahi A, Mardani Najafabadi M and Zeinali M. 2020. Determining the optimal cropping Pattern of agricultural crops in mollasani county of Iran: Application of Robust Multi-Objective Optimization Model. *Agricultural Economics and Development*, 28(111): 175-203.
- Ahmadi M, Etedali HR and Elbeltagi A. 2021. Evaluation of the effect of climate change on maize water footprint under RCPs scenarios in Qazvin plain, Iran. *Agricultural Water Management*, 254: 106-130.
- Asgharipour MR, Mousavinik SM and Enayat FF. 2016. Evaluation of energy input and greenhouse gases emissions from alfalfa production in the Sistan region, Iran. *Energy Reports*, 2:135-140.
- Bérenger V and Verdier-Chouchane A. 2007. Multidimensional measures of well-being: Standard of living and quality of life across countries. *World Development*, 35(7): 1259-1276.
- Chakraborty M, and Gupta S. 2002. Fuzzy mathematical programming for multi objective linear fractional programming problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 125(3): 335-342.
- Chiappero ME. 1996. Standard Of Living Evaluation Based On Sens Approach: Some Methodological Suggestions. *Notizie di Politeia*, 12: 37-53.
- Dinpazhoh I. 2010. Evaluation of evapotranspiration trend of monthly reference plant potential in Zabol. *Newbar*. 34, 23-34.
- Dunnett A, Shirsath PB, Aggarwal PK, Thornton P, Joshi PK, Pal BD, ... and Ghosh J. 2018. Multi-objective land use allocation modelling for prioritizing climate-smart agricultural interventions. *Ecological Modelling*, 381: 23-35.
- El Gafy I, Grigg N and Reagan W. 2017. Water-food-energy nexus index to maximize the economic water and energy productivity in an optimal cropping pattern. *Water international*, 42(4): 495-503.
- Francisco SR and Mubarik A. 2006. Resource allocation trade-offs in Manila's peri-urban vegetable production systems: An application of multiple objective programming. *Agricultural Systems*, 87: 147-168.
- Galán-Martín Á, Pozo C, Guillén-Gosálbez G, Vallejo AA and Esteller LJ. 2015. Multi-stage linear programming model for optimizing cropping plan decisions under the new Common Agricultural Policy. *Land Use Policy*, 48: 515-524.

- Gohar AA and Ward FA. 2010. Gains from expanded irrigation water trading in Egypt: an integrated basin approach. *Ecological Economics*, 69(12): 2535-2548.
- Hao L, Su X and Singh V P. 2018. Cropping pattern optimization considering uncertainty of water availability and water saving potential. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1): 178-186.
- Hosseinzadeh SR. 1997. 120-day winds. *Geographical Research Quarterly*. No. 46. Mashhad.
- Joolaie R, Sarvestani AA, Taheri F, Van Passel S and Azadi H. 2017. Sustainable cropping pattern in North Iran: application of fuzzy goal programming. *Environment, Development and Sustainability*, 19(6): 2199-2216
- Kuo SF, Ho SS, and Liu CW. 2006. Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. *Agricultural Water Management*, 82(3): 433-451.
- Lavasani A, Ghanbari A and Asgharipour MR. 2015. Sustainability evaluation of wheat, onion and garlic agricultural systems by joint use of energy and economic accounting. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(3), 31-41.
- Mardani Najafabadi M, Ziaee S, Nikouei A and Borazjani MA. 2019. Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems*, 173: 218-232.
- Mardani M, Ziaei S and Nikouei A. 2018. Optimizing the trade of virtual water in regional cropping pattern of the Isfahan province: application of multi-criteria models. *Agricultural Economics and Development*, 25(100): 39-88.
- Marzban Z, Asgharipour MR, Ganbari A, Nikouei A, Ramroudi M and Seyedabadi E. 2020. Reducing environmental impacts through redesigning cropping pattern using LCA and MOP (case study: east Lorestan Province). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(3): 311-330. . (In Persian).
- Marzban Z, Asgharipour MR, Ghanbari A, Ramroudi M and Seyedabadi E. 2021. Evaluation of environmental consequences affecting human health in the current and optimal cropping patterns in the eastern Lorestan Province, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(5): 6146-6161.
- Marzban Z, Asgharipour MR, Ghanbari A, Ramroudi M and Seyedabadi E. 2021. Determining cropping patterns with emphasis on optimal energy consumption using LCA and multi-objective planning: a case study in eastern Lorestan Province. *Iran. Energy, Ecology and Environment*, 1-19.
- Mazahreh S, Bsoul M and Hamoor DA. 2019. GIS approach for assessment of land suitability for different land use alternatives in semi arid environment in Jordan: Case study (Al Gadeer Alabyad-Mafraq). *Information Processing in Agriculture*, 6(1): 91-108.
- Mohammadi A, Rafiee S, Jafari A, Keyhani A, Mousavi-Avval SH and Nonhebel S. 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30: 724-733.
- Murmu P, Kumar M, Lal D, Sonker I and Singh SK. 2019. Delineation of groundwater potential zones using geospatial techniques and analytical hierarchy process in Dumka district, Jharkhand, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 100239.

- Najafabadi MM, Ziaee S, Nikouei A and Borazjani M A. 2019. Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems*, 173: 218-232.
- Osama S, Elkholy M and Kansoh R M. 2017. Optimization of the cropping pattern in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 56(4): 557-566.
- Pieragostini C, Aguirre P and Mussati MC. 2014. Life cycle assessment of corn-based ethanol production in Argentina. *Science of the Total Environment*, 472: 212-225.
- Ramezani Etedali H, Ahmadaali K, Gorgin F and Ababaei B. 2019. Optimization of the cropping pattern of main cereals and improving water productivity: application of the water footprint concept. *Irrigation and Drainage*, 68(4): 765-777.
- Samuel-Fitwi B, Wuert S, Schroeder JP and Schulz C. 2012. Sustainability assessment tools to support aquaculture development. *Journal of Cleaner Production*, 32: 183-192.
- Sarker R and Ray T. 2009. An improved evolutionary algorithm for solving multi-objective crop planning models. *Computers and Electronics in Agriculture*, 68(2): 191-199.
- Sengupta A, Pal TK and Chakraborty D. 2001. Interpretation of inequality constraints involving interval coefficients and a solution to interval linear programming. *Fuzzy Sets and Systems*, 119(1): 129-138.
- Yousefi M, Damghani AM and Khoramivafa M. 2016. Comparison greenhouse gas (GHG) emissions and global warming potential (GWP) effect of energy use in different wheat agroecosystems in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(8): 7390-7397.
- Zamani O, Azadi H, Mortazavi SA, Balali H, Moghaddam SM and Jurik L. 2021. The impact of water-pricing policies on water productivity: Evidence of agriculture sector in Iran. *Agricultural Water Management*, 245: 106548.