نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۲ شماره۱ / سال ۱۴۰۱ صفحات ۲۰۱-۱۸۷

Using Water Footprint Accounting Concepts to Determine the Optimal Cropping Pattern of Rainfed Farmlands (Case study: Ghaenat and Zirkuh counties)

Hamid Reza Aboutorabi [1], Mahmoud Ramroudi [2*], Mohammad Reza Asgharipour[3] , Mohammad Sadegh Ghazanfari Moghadam[4]

Received: 21 February 2021 Accepted: 04 December 2021
1-PhD Candidate, Dept. of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
2-Assoc. Prof., Dept. of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
3-Prof., Dept. of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
4-Assist. Prof., Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.
*Corresponding Author Email: mramroudi42@uoz.ac.ir

Abstract

Background & Objective: The importance and necessity of planning the rainfed cropping pattern of each region can be attributed to the need for optimal use of rainfall and the provision of solutions to increase production efficiency in rainfed agricultural lands. This study was carried out with the aim of taking into account the water footprint to determine the optimal cropping pattern of rainfed agricultural lands in Ghaenat and Zirkoh counties.

Materials & Methods: In this study, the appropriate cropping model of rainfed crops was investigated using multi-objective non-linear programming with the aim of reducing green and gray water footprints while maximizing net profit in counties of Zirkoh and Ghaenat. The data was collected in 2018-2019 through surveys and desk studies from databases and weather stations.

Results: The results showed that the optimal cropping model while maintaining the current income in the region reduced the green water footprint by 1898384 $m^3.ton^{-1}$ and 249886 $m^3.ton^{-1}$ in the multi-objective planning model in the region. The results also showed that by reducing the amount of green water footprint in the cropping model, the amount of economic water footprint in rainfed agricultural land decreases. In general, to achieve economic objectives and reduce the water footprint, in the form of multi-objective planning, the reduction of 121 and 58 ha of cultivated area compared to the current pattern in Ghaenat and Zirkoh is inevitable.

Conclusion: According to the results of this study, it is necessary to pay attention to the objectives of reducing the water footprint, especially the amount of the green water footprint in optimizing the crop model of rainfed areas. Also, due to the advantages and positive effects of the multi-objective model compared to the current model. The effective role of green water in maintaining water resources and groundwater aquifers will replace the multipurpose model in the region. Steps can be taken to increase profits and reduce water use, using the proposed model, in addition to selecting the appropriate model and making the best use of resources.

Keywords: Cropping Pattern, Gray Water Footprint, Green Water Footprint, Net Profit, Optimization

استفاده از مفاهیم حسابداری ردپای آب برای تعیین الگوی کشت بهینه اراضی دیم (مطالعه موردی: شهرستان‌های قائنات و زیرکوه)

حمیدرضا ابوترابی[۱]، محمود رمرودی[۲*]، محمدرضا اصغری‌پور[۳]، محمد صادق غضنفری مقدم[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱۳
۱-دانشجوی دکتری آگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲-دانشیار زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۳-استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۴- استادیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان
*مسئول مکاتبه: Email: mramroudi42@uoz.ac.ir

چکیده

اهداف: اهمیت و ضرورت برنامه‌ریزی در الگوی کشت دیم هر منطقه را می‌توان ناشی از لزوم استفاده بهینه از میزان بارندگی و ارائه راه‌کارهایی جهت افزایش راندمان تولید در اراضی دیم دانست. این مطالعه با هدف حسابداری ردپای آب برای تعیین الگوی کشت بهینه اراضی دیم شهرستان‌های قائنات و زیر کوه اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: در این مقاله الگوی کشت مناسب محصولات زراعی دیم با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه با هدف کاهش ردپای آب سبز و خاکستری در کنار حداکثرسازی سودخالص، در شهرستان های زیرکوه و قائنات بررسی شد. داده‌های مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ به روش تحقیق پیمایشی و مطالعات اسنادی از پایگاه‌های اطلاعاتی و ایستگاه‌های هواشناسی منطقه جمع‌آوری شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که الگوی کشت بهینه با حفظ درآمد کنونی کشاورزان منطقه، ردپای آب سبز را به میزان ۱۸۹۸۳۸۴ متر مکعب بر تن و ردپای آب آبی را به میزان ۲۴۹۸۸۶ متر مکعب بر تن نسبت به الگوی کشت رایج در منطقه کاهش داد. هم‌چنین نتایج نشان داد که با کاهش میزان ردپای آب سبز در الگوی کشت میزان ردپای آب اقتصادی در بوم نظام‌های زراعی دیم کاهش می‌یابد. در مجموع جهت نیل به اهداف اقتصادی و کاهش ردپای آب ذکر شده در این مطالعه در قالب برنامه‌ریزی چند هدفه کاهش ۱۲۱ و ۵۸ هکتاری سطح زیر کشت نسبت به الگوی جاری در قائنات و زیرکوه اجتناب ناپذیر است.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌های این مطالعه توجه به اهداف کاهش ردپای آب علی‌الخصوص میزان ردپای آب سبز در بهینه‌سازی الگوی کشت مناطق دیم امری ضروری است، همچنین به دلیل مزایا و اثرات مثبت الگوی چند هدفه نسبت به الگوی جاری، به خصوص کاهش آلاینده‌های آب و نقش موثر آب سبز در حفظ ذخایر منابع آبی و سطح سفره های آب زیر زمینی، جایگزین کردن الگوی چندهدفه در منطقه مناسب خواهد بود. با استفاده از مدل پیشنهادی می‌توان علاوه بر انتخاب الگوی مناسب و استفاده بهینه از منابع، در راستای افزایش سود و کاهش استفاده از آب گام برداشت.

واژه های کلیدی: الگوی کشت، بهینه سازی، ردپای آب خاکستری، ردپای آب سبز، سود خالص

مقدمه

منابع آب شیرین دارای تغییرات زمانی و مکانی قابل توجهی می‌باشند. رشد جمعیت همراه با توسعه اقتصادی و اجتماعی باعث شده تا این منابع در معرض تهدید قرار گیرند. کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، خشک شدن رودخانه‌ها و سطح بالای آلودگی ها نشانه‌های از کمبود منابع آب می‌باشند (شکوهی و دانشکار آراسته ۲۰۱۴). با توجه به اینکه کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف کننده منابع آب در جهان به شمار می‌آید، بنابراین درصورتی که بشر بخواهد با چالش‌هایی که در آینده پیش رو او قرار دارد مقابله کند، باید سطح مصرف آب در بخش کشاورزی را تا سطح پایدار کاهش دهد (ژائو و همکاران ۲۰۱۶). هم‌چنین بررسی وضعیت موجود کشاورزی بیان‌گر آن است که با وجود پتانسیل‌ها افزایش تولید محصولات کشاورزی، به دلیل فقدان سیستم مدیریتی صحیح امکان استفاده بهینه از منابع موجود آب و خاک مسیر نشده است (آبابائی و رمضانی اعتدالی ۲۰۱۶). به‌طوری که با وجود اختصاص حدود ۵۰ درصد از زمین‌های زراعی کشور به کشت دیم، به دلیل عدم برنامه‌ریزی دقیق تولید تنها ۵ درصد محصولات کشاورزی کشور از طریق این کشت تولید می‌شود. این درحالی است که در جهان به طور میانگین ۸۵ درصد از محصولات کشاورزی از طریق کشت دیم تولید می‌شود (وزارت جهاد کشاورزی ۲۰۱۷). بنابراین لازم است از هم اکنون با اتخاذ تدابیر اصولی و معقول، راه‌کاری را برای افزایش تولید در مناطق دیم اندیشید. یکی از راه‌کارهای توصیه شده، پیاده‌سازی نظام بهروری آب کشاورزی در ساختار مدیریت اراضی دیم می‌باشد (تولبر و بریوچ ۲۰۱۹)، به‌نحوی که در حوزه‌ی مدیریت جدید مفاهیم جدید از جمله الگو کشت و ردپای آب در اراضی دیم ارائه شده باشد (ادریریا و همکاران ۲۰۱۸).

ردپای آب[1]، شاخصی برای نشان دادن حجمی از آب است که به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم برای تولید کالا مصرف می‌شود. در مورد کشت دیم با توجه به عدم استفاده از آب آبیاری، تنها ردپای آب سبز و خاکستری منظور می‌گردد (زومیدس و همکاران ۲۰۱۴). ردپای سبز، به سهم آب حاصل از بارندگی (موثر) مرتبط است. ردپای خاکستری، به حجم آب شیرین اطلاق می‌شود که برای رقیق سازی کودها و سموم که در فرآیند تولید محصول استفاده شده‌اند، مورد نیاز است (سیمئونیدو و همکاران ۲۰۱۹). فلاچ و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی اهمیت آب سبز در تجارت آب مجازی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین سهم از آب مجازی گندم؛ ذرت و سویا که به‌طور دیم کشت شده‌اند مربوط به آب سبز است. هم‌چنین این محققین اظهار کردند که آب سبز در تامین امنیت غذایی و کاهش تنش و بحران آبی در جهان بیشترین سهم را دارد. آبابائی و رمضانی اعتدالی (۲۰۱۶) مجموع ردپای آب را در تولید گندم دیم در ایران را ۳۰۷۱ متر مکعب بر تن و سهم آب سبز در آن را بیش از ۶۰ درصد از کل ردپای آب برآورد نمودند.

الگوی کشت عبارت است 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 (دوری و همکاران ۲۰۱۳ و مرزبان و همکاران ۲۰۲۰a,b). در این راستا، استفاده از رهیافت‌های برنامه‌ریزی ریاضی از جمله برنامه‌ریزی چندهدفه[2] برای ارائه الگوی کشت بهینه از مزیت‌های قابل توجهی برخوردار است (نی و همکاران ۲۰۱۹ و ژی و همکاران ۲۰۱۸). مدل تصمیم‌گیری چندهدفه از، توابع هدف و محدودیت‌ها تشکیل می‌شود و هدف تصمیم‌گیر به حداکثر رساند یا به حداقل رساندن توابع هدف است. از آن جایی‌که این مسایل بندرت راه‌حل منحصر به فرد دارند، تصمیم‌گیر جوابی را از میان مجموعه جواب‌های کارا انتخاب می‌کند (رن و همکاران ۲۰۱۷). در زمینه بهینه‌سازی تخصیص زمین‌های قابل‌کشت در مناطق مختلف دنیا مطالعات قابل‌توجهی انجام پذیرفته است. در

[1]Water Footprint

[2]Multi-objective planning pattern

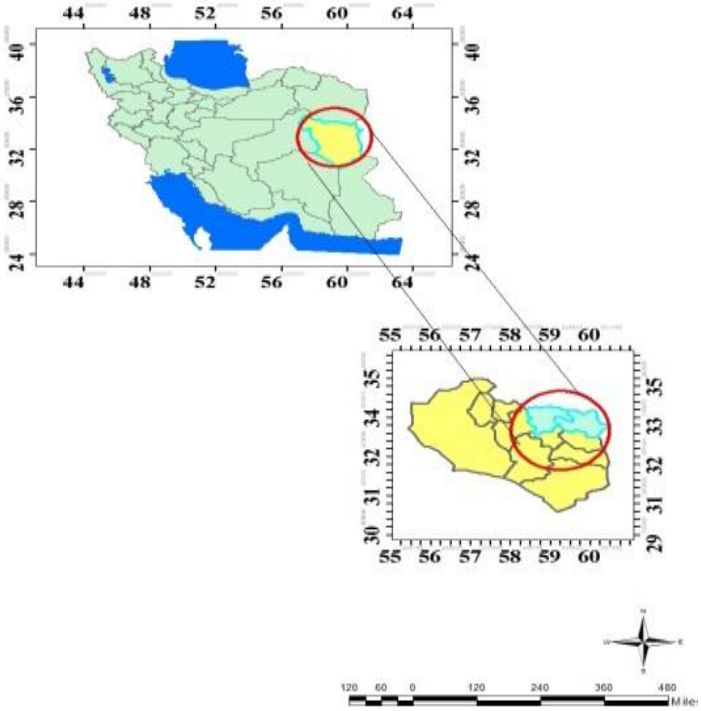
بسیاری از این مطالعات از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه استفاده شده است (زنگ و همکاران ۲۰۱۰ و لاله زاری و همکاران ۲۰۱۶).

از روش برنامه‌ریزی خطی چندهدفه تاکنون در مطالعات و تصمیم‌گیری‌های چندهدفه در خصوص هدف افزایش سود خالص (کرامت زاده و همکاران ۲۰۱۱ و رن و همکاران ۲۰۱۹)، حداقل سازی مصرف آب آبیاری (رمضانی و همکاران ۲۰۱۳ و لاله زاری و همکاران ۲۰۱۶) و توجه به اهمیت نگرش زیست‌محیطی (مرزبان و همکاران ۲۰۲۱) استفاده شده است. همچنین مطالعات زیادی در خصوص بهینه‌سازی تخصیص اراضی کشاورزی در دنیا با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه انجام شده است (ژی و همکاران ۲۰۱۸). در مطالعه‌ای پارساپور و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند الگوی بهینه کشت در اراضی کشاورزی فریمان و تربیت جام مصرف مواد زیان‌آور از جمله سموم شیمیایی و کودها را به حداقل می‌رساند. مصلح و همکاران (۲۰۱۷) در ارزیابی الگوی بهینه کشت با مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه در شهرکرد اختصاص اراضی بیشتر به سیب‌زمینی در مقایسه با یونجه و ذرت را پیشنهاد دادند. مانوس و همکاران (۲۰۱۰) به طراحی یک مدل برای تعیین الگوی کشت مناطق شمالی مصر پرداخته و از مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه جهت حل آن استفاده کردند. نتایج کلی حاصل از این مطالعه بیانگر توانایی بیشتر مدل‌های چندهدفه نسبت به مدل‌های تک هدفه بود.

شهرستان‌های قائنات و زیرکوه با سطح زیر کشت حدود ۹۵۰۰ هکتار حدود یک پنجم مساحت کشاورزی استان خراسان جنوبی را دارند. این دو شهرستان با داشتن ۸۰۴ حلقه چاه عمیق و ۸۰۰ رشته قنات، همچنین متوسط بارش حدود ۲۳۵ میلی‌متر بیشترین منابع آب در سطح استان را دارند (وزارت جهاد کشاورزی ۲۰۱۷). با توجه به قرارگیری منطقه زیرکوه و قائن در کمربند خشک و نیمه خشک جهانی و همچنین پایین بودن سطح کاربرد تکنولوژی در بخش کشاورزی اراضی دیم این شهرستان‌ها، بالا بودن ردپای آب ملی نسبت به میانگین جهانی (حدود ۱۰۰۰ مترمکعب در سال به ازاء هر نفر) منطقی است (قاسمی پور و عباسی ۲۰۱۹). لذا لزوم یکپارچه‌نگری، یافتن منابع جدید و استفاده از روش‌های مدیریتی مبتنی بر یکپارچه نگری راه‌هایی است که برای جلوگیری از بروز بحران در بخش آب پیشنهاد شده است. بنابراین ارائه راه حلی جامع‌نگر، در جهت حفظ منابع آب و دستیابی به ثبات اجتماعی ضروری به نظر می‌رسد. این تحقیق با استفاده از اصول ردپای آب طرح گردید تا بتواند زوایای پنهان و مشکلات موجود در بهره‌برداری و مدیریت کلان آب و مدیریت منابع آب در مناطق دیم را آشکار نماید. هدف از این مطالعه تعیین الگوی کشت بهینه توسط برنامه‌ریزی چندهدفه برای یافتن راه‌حل مناسبی جهت افزایش تولید و پایداری منطقه است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به منظور بهینه‌سازی الگوی کشت اراضی دیم در راستای افزایش سود خالص و کاهش ردپای آب سبز و ردپای آب خاکستری بااستفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه در سطح شهرستان‌های قائنات و زیرکوه اجرا شد (شکل ۱). این منطقه در حد فاصل ۳۳ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. میانگین دمای سالانه در طول سال در این منطقه ۲۳/۵ درجه سانتیگراد است. حداکثر و حداقل مطلق به ترتیب ۴۱ و ۲۸- درجه سانتیگراد بوده است. حداکثر متوسط رطوبت نسبی در بهمن ماه با ۶۵ درصد و حداقل آن در تیرماه ۳۵ درصد است. متوسط بارش سالیانه قاینات و زیر کوه به ترتیب ۱۸۰ و ۱۶۰ میلی‌متر است. تحقیق حاضر از لحاظ میزان و درجه کنترل، غیر آزمایشی و توصیفی، هم‌چنین از نظر نحوه‌ی گردآوری داده‌ها، میدانی و درنهایت به لحاظ قابلیت تعمیم‌یافته‌ها، از نوع پیمایشی محسوب می‌شود. جامعه آماری تحقیق حاضر شامل زارعین مناطق دیم بود. در این مطالعه ۶۷ کشاورز گندم کار، ۳۴ کشاورز جو کار، ۲۰ کشاورز نخود کار، ۱۷ کشاورز خربزه کار و ۱۴ کشاورز هندوانه کار در شهرستان قائنات و ۴۵ کشاورز گندم کار، ۲۳ کشاورز جو کار، ۱۴ کشاورز نخود کار، ۱۵ کشاورز خربزه کار و ۱۳ کشاورز هندوانه کار در شهرستان زیرکوه انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

محاسبه شاخص‌های ردپای آب

ردپای آب سبز و خاکستری برای محصولات مختلف با استفاده از روابط ۲ و ۳ قابل محاسبه هستند (بذرافشان و همکاران ۲۰۱۹و فنگ و همکاران ۲۰۲۰).

$$WF_{Green} = \frac{Pe \times 10}{Y} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$WF_{Grey} = (\alpha \times \mathrm{NAR/Cmax} - \mathrm{CNat}) \times (1/\mathrm{Y}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در روابط فوق، WF_{Green} ردپای آب سبز، و WF_{Gray} ردپای آب خاکستری برحسب متر مکعب در تن محصول می‌باشد. همچنین Pe مجموعه بارندگی موثر در طول دوره رشد گیاه (میلی‌متر)، Y عملکرد هر محصول (تن در هکتار)، (٪) درصد تلفات کودی نیتروژن، NAR (کیلوگرم در هکتار) نرخ مصرف کود برای هر گیاه، Cmax غلظت بحرانی نیتروژن (کیلوگرم در متر مکعب)، CNat غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده (کیلوگرم در متر مکعب) و ۱۰ فاکتور (عامل) تبدیل واحد از میلی‌متر به متر مکعب در هکتار می‌باشد. مقادیر Pe با استفاده از روش فائو و با بکارگیری مدل CROPWAT محاسبه شد. اطلاعات مورد نیاز از مطالعات اسنادی از پایگاه‌های اطلاعاتی مرکز آمار ایران و سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی و ایستگاه‌های هواشناسی منطقه جمع آوری شد.

برنامه‌ریزی چندهدفه

در مطالعه‌ی حاضر سعی در افزایش سود کشاورزان مناطق دیم در کنار کاهش مصرف آب از راه اصلاح الگوی کشت محصولات زراعی شده است. دستیابی به این اهداف نیازمند توجه به اهداف متفاوت و گاهاً متضادی شامل حداکثرسازی سود خالص و حداقل‌سازی ردپای آب سبز و ردپای آب خاکستری است. محدودیت‌های الگوی کشت شامل محدودیت زمین، محدودیت آب و محدودیت خاص روش حل مقید برنامه‌ریزی چندهدفه شامل محدودیت سطح بازده برنامه‌ای مشخص و میزان معین از مصرف آب است.

برای تشکیل توابع عضویت اهداف یاد شده، ابتدا باید مقادیر بهینه یا آرمانی برای هر یک از اهداف را تعیین نمود. منظور از مقدار بهینه، حداکثر سود (Z_1)، حداقل‌سازی ردپای آب سبز (Z_2) و ردپای آب خاکستری (Z_3) است. این مقادیر در قالب یک الگوی برنامه‌ریزی تک هدفه مشروط بر محدودیت‌ها (رابطه ۴) و توابع هدف تعیین گردیدند (جدول‌های ۱ و ۲).

الف) محدودیت‌های مدل:

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

رابطه (۴) $\sum_{j=1}^{j} \text{LandSch}_{jm}^{d} \text{Land_Cl}_{\text{Irrigated}} V_j^d \leq \text{LandRHS Irrigated}^{d2} \quad \forall d, m$

۲- مجموعه محدودیت مربوط به حداکثر و حداقل مقدار زمین اراضی دیم: در این مجموعه محدودیت حداکثر و حداقل مقدار زمین جهت کشت هر محصول در هر شهرستان ارائه شده است.

رابطه (۵) $\sum_{j=1}^{j} \text{Land_Cl_V}_j^d \leq \text{Land_Cl_max}_j^d \quad \forall d, j$

رابطه (۶) $\sum_{j=1}^{j} \text{Land_Cl_V}_j^d \leq \text{Land_Cl_min}_j^d \quad \forall d, j$

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

(رابطه ۷) $\text{NetBenefit_Cl_V}_j^d \geq \sum_{d=1}^{d} \text{NetBenifitC}u\text{rrent}^d \quad \forall d$

۴- مجموعه مربوط به ردپای آب سبز: در این مجموعه محدودیت ردپای آب سبز نباید از ردپای آب سبز در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه کمتر شود.

رابطه(۸) $\text{WFGreen_Cl_V}_j^d \geq \sum_{d=1}^{d} \text{WFGreen_Current}^d \quad \forall d$

۸-مجموعه مربوط به ردپای آب خاکستری: در این مجموعه محدودیت ردپای آب خاکستری نباید از ردپای آب خاکستری در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه بیشتر شود.

رابطه(۹) $\text{WFgray_Cl_V}_j^d \leq \sum_{d=1}^{d} \text{WFgray_Crrent}^d \quad \forall d$

ب) توابع هدف مدل تدوین الگوی کشت منطقه

اهداف متفاوتی از مدل کشت ارائه شده می‌توان متصور شد. به‌علت انعطاف در مدل و تقابل آن با افراد تصمیم‌گیر می‌توان اهداف متفاوت اقتصادی و محیط زیستی در مدل مورد نظر گنجانده شود، که در ادامه شرح داده شده است.

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

رابطه (۱۰) $Z_1: \text{ObjectProfit}_V = \sum_{d=1}^{d} \text{NetBenefit_Cl_V}_j^d$

که در آن ObjectProfit_V متغیر تابع هدف و مربوط به سود خالص کل در الگو است.

۲- حداقل‌سازی آب سبز کلیه مناطق تحت بررسی یکی از اهداف کاهش مصرف آب است.

رابطه(۱۱) $Z_2: \text{Object WFGreen_v} = \sum_{d=1}^{d} \sum_{j=1}^{j} \text{WFGreen_Cl_V}_j^d$

که در آن Object WFGreen_v متغیرتابع هدف و مربوط به ردپای آب سبز الگو است.

۵- حداقل‌سازی ردپای آب خاکستری کلیه مناطق تحت بررسی یکی از اهداف زیست محیطی است.

رابطه(۱۲) $Z_3: \text{Object WFgray_v} = \sum_{d=1}^{d} \sum_{j=1}^{j} \text{WFgray_Cl_V}_j^d$

که در آن Object gray_v متغیرتابع هدف و مربوط به ردپای آب خاکستری الگو است.

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. وابسته به ترجیحات تصمیم‌گیر، وزن‌هایی بر حسب اهمیت اهداف رقیب به معیارهای تصمیم‌گیری داده می‌شود (رن و همکاران ۲۰۱۷). در این مطالعه برای انجام تحلیل‌های اقتصادی از نرخ برابری دلار در برابر ریال معادل ۱۲۸۰۰۰ استفاده شد. در نهایت الگوریتم‌های ریاضی الگوی برنامه‌ریزی منطقه‌ای مورد استفاده در محیط بسته نرم افزاری GAMS توسعه داده شد (جی‌ای‌مس، ۲۰۱۰).

جدول ۱- فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف مجموعه‌ها و متغیرها

نوع	نماد	شرح
مجموعه	$d \in \{1,2,\dots,D\}$	سطح دوم تقسیمات سیاسی (شهرستان)
	$j \in \{1,2,\dots,j\}$	گروه اصلی محصولات
	$m \in \{1,2,\dots,m\}$	ماه‌های سال
متغییر	$Land_Cl_{\text{Irrigated}}V_j^d$	مقدارزمین تخصیص داده شده به محصول j درشهرستان d به محصولات آبی
	$NetBenefit_Cl_V_j^d$	سود خالص کل برای کشت محصول j برای شهرستان d
	$WFGreen_Cl_V_j^d$	ردپای آب سبز برای کشت محصول j برای شهرستان d
	$WFGray_Cl_V_j^d$	ردپای آب خاکستری برای کشت محصول j برای شهرستان d
	$ObjectProfit_v$	تابع هدف و مربوط به سود خالص کل در الگو
	$WFGreen_Cl_V_j^d$	ردپای آب سبز کل برای کشت محصول j برای شهرستان d
	$ObjectWFGreen_v$	تابع هدف و مربوط به آب سبز
	$WFGray_Cl_V_j^d$	ردپای آب خاکستری کل برای کشت محصول j برای شهرستان d
	$ObjectWFGray_v$	تابع هدف و مربوط به ردپای آب خاکستری

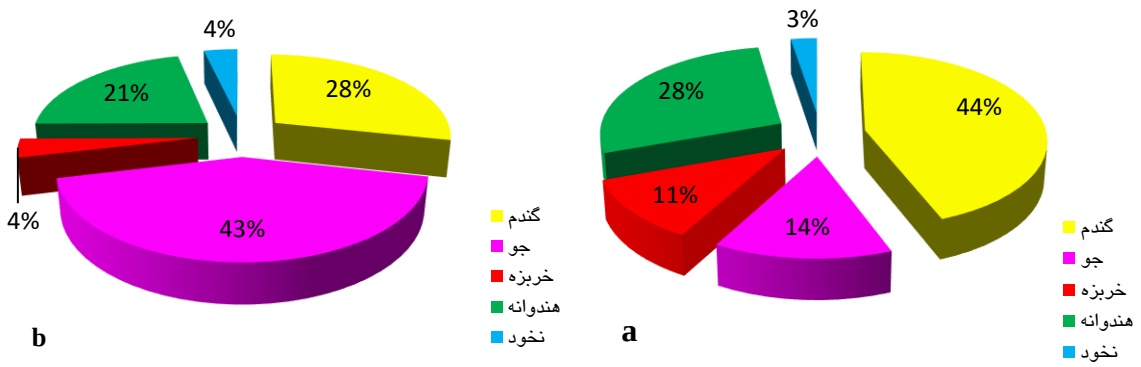
جدول ۲- فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف پارامترها

نماد	شرح
NB	سود خالص
$WFGreen$	ردپای آب سبز
$WFGray$	ردپای آب خاکستری
LandSch_{jm}^{d}	ضریب کاربری زمین برای محصول j، ماه m در شهرستان d
$\text{LandRHS Irrigated}^{d}$	مقدار زمین قابل کشت در شهرستان d محصولات آبی
$\text{LandRHS } Rainfed^{d}$	مقدار زمین قابل کشت در شهرستان d محصولات آبی و دیم
$\text{Land_Cl_max}_{j}^{d}$	حداکثر سطح زیر کشت هر محصول در منطقه
$\text{Land_Cl_min}_{j}^{d}$	حداقل سطح زیر کشت هر محصول در منطقه
$NetBenifitCrrent^d$	سود خالص شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d
$WFGreen_Crrent^d$	ردپای آب سبز شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d
$WFGray_Crrent^d$	ردپای آب خاکستری شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d

نتایج و بحث

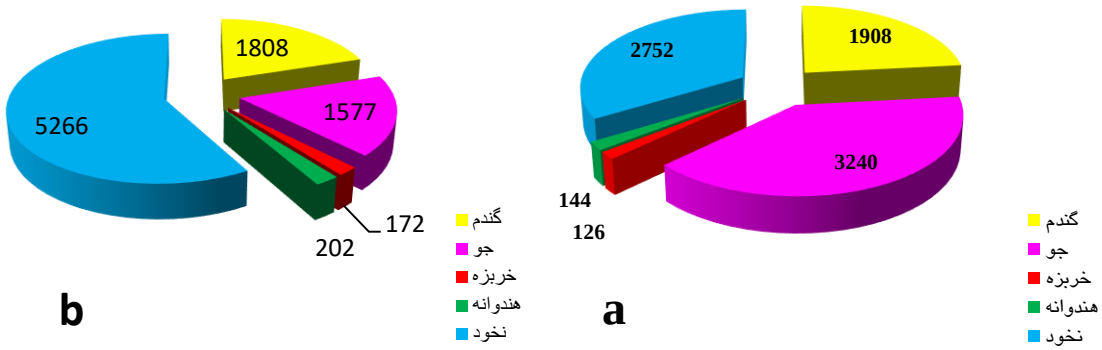
میزان شاخص‌های ردپای آب و حسابداری آب محصولات دیم در الگوی کشت جاری منطقه

در الگوی کشت جاری منطقه کشت گندم و جو به ترتیب ۴۰ و ۲۱ درصد سطح زیر کشت اراضی دیم منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. گندم با مجموع حدود ۲۱۳۷ هکتار، تولید ۵۲۳۴ تن و عملکرد متوسط ۲۴۵۰ کیلوگرم در هکتار مهمترین محصول در الگوی کشت هر دو شهرستان محسوب می‌شود. همچنین سه محصول هندوانه، خربزه و نخود با اختصاص حدود ۲۶، ۹ و ۲ درصد از اراضی دیم زیرکوه و قائنات، ۳۷ درصد از تولیدات منطقه را تولید می‌کند (شکل ۲). بیشترین سود خالص در الگوی کشت جاری محصولات دیم به‌ترتیب مربوط به نخود و گندم بود (جدول ۳).



شکل ۲- سطح زیر کشت محصولات دیم قائنات (a) و زیر کوه (b) در الگوی جاری منطقه

نتایج نشان داد که شاخص ردپای آب در شهرستان زیرکوه نسبت به شهرستان قائنات بیشتر است. باید توجه داشت که مقدار ردپای آب مورد نیاز برای تولید محصول با توجه به شرایط اقلیمی، فرهنگی و مدیریتی در هر منطقه متفاوت است. این مسئله موجب می‌شود که مطالعات برآورد شاخص‌های ردپای آب در هر منطقه امری ضروری باشد (گلابی و همکاران ۲۰۲۰). مجموع حجم ردپای آب محصولات دیم در منطقه زیرکوه و قائنات در حدود ۹۰۲۵ و ۸۱۷۰ مترمکعب در سال در منطقه برآورد شد. همچنین به‌ترتیب ۴۰، ۳۴، ۲۳، ۲ و ۱ درصد درصد از کل حجم ردپای آب در تولید جو، نخود، گندم، خربزه و هندوانه در شهرستان قائنات و به‌ترتیب ۵۸، ۲۰، ۱۸، ۲ و ۲ درصد از حجم ردپای آب در تولید نخود، گندم، جو، هندوانه در شهرستان زیر کوه بود (شکل ۳). گربنز-لینز و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که سهم ردپای آب مزارع جو در حدود ۲ برابر مزارع گندم است. بر همین اساس به نظر می‌رسد برآورد اجزای ردپای آب در فرآیند محصولات دیم می‌تواند به عنوان جزئی مهم از مطالعات اراضی دیم قرار گیرد و با مشخص ساختن مناطق با بالاترین سهم از هریک از اجزای ردپای آب، امکان مدیریت هدفمندتر و اعمال راهبردهای موثرتر برای مدیریت منابع آب با هدف افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه های اقتصادی و زیست محیطی را ممکن می‌سازند (الدایا و همکاران ۲۰۱۰).



شکل ۳- حجم ردپای آب (مترمکعب بر تن) محصولات دیم قائنات (a) و زیر کوه (b) در الگوی جاری منطقه

همچنین حجم ردپای آب سبز در شهرستان‌های زیر کوه و قائن به ترتیب ۸۳۵۷ و ۷۲۶۶ متر مکعب در سال (حدود ۹۳ و ۸۹ درصد از کل حجم ردپای آب در تولید محصولات دیم) است. با توجه به سیاست‌های ذخیره بارندگی در خاک و کاهش سهم آب کشاورزی از منابع زیرزمینی، باید بیشتر سهم آب کشاورزی از دخایر خاک منطقه تامین شود که در نهایت منجر به کاهش برداشت

بی رویه از منابع آبی زیر زمینی منطقه خواهد شد (باینز و همکاران ۲۰۱۱).

نتایج ارزیابی ردپاهای آب سبز و خاکستری در الگوی کشت جاری محصولات دیم نشان داد کشت محصولات نخود ، گندم و جو در الگوی کشت رایج در منطقه بیشترین میزان ردپاهای آب سبز و خاکستری را دارا بود (جدول ۳). به‌طور کلی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک مانند شهرستان‌های زیرکوه و قائنات که هم توزیع زمانی و مکانی، بارندگی نامناسب است و هم مقدار بارندگی اندک است، باران‌های موقتی برای تأمین نیاز آبی گیاهان کافی نیست. لذا کاهش ردپای آب سبز و تولید محصولاتی که ردپای آب سبز کمتری دارند در اراضی دیم می‌تواند به ذخیره مقدار رطوبتی در خاک بسیار کمک کند. بیشترین ردپای اقتصادی آب سبز و خاکستری در قائنات به ترتیب به جو، نخود و گندم و در زیرکوه به ترتیب به نخود، گندم و جو مربوط بود. به عبارت دیگر این محصولات برای یک دلار سود خالص در اراضی دیم نسبت به خربزه و هندوانه، به آب باران بیشتری احتیاج دارند. بنابراین محاسبه حسابداری ردپای آب اصلاح سیاست‌های مصرف آب را فراهم می‌سازد (بی‌نام ۲۰۱۱). به‌طور کلی، نتایج مطالعه الگوی کشت جاری دیم در منطقه، بیان‌گر این بود که محصولاتی که سود بالایی دارند ردپای آب قابل توجهی را نیز ایجاد کردند. به دلیل تاثیر بسزای ردپای آب سبز و خاکستری بر نظام‌های دیم، نظام‌های کشاورزی دیم باید به گونه‌ای بازطراحی شوند که در عین به‌کارگیری راه‌کارهای مناسب مدیریتی به منظور افزایش ذخیره آب در خاک و کاهش آلاینده‌ها به آب سود بیشتری عاید کشاورزان منطقه کنند (نظری و همکاران ۲۰۲۰).

جدول ۳- میزان ردپای آب در الگوی کشت جاری محصولات دیم

محصولات گیاهی	سود خالص ($\$.ha^{-1}$)	ردپای آب سبز ($m^3.ton^{-1}$)	ردپای آب خاکستری ($m^3.ton^{-1}$)	ردپای اقتصادی آب سبز ($m^3.\$^{-1}$)	ردپای اقتصادی آب خاکستری ($m^3.\$^{-1}$)
قائنات					
گندم	۴۲۱	۱۶۲۱	۲۸۷	۳/۸۵	۰/۶۸
جو	۱۰۰	۲۸۶۵	۳۷۵	۲۸/۶۵	۳/۷۵
خربزه	۲۳۷	۱۰۳	۲۳	۰/۴۳	۰/۱۰
هندوانه	۱۶۰	۱۲۵	۱۹	۰/۷۸	۰/۱۲
نخود	۴۹۰	۲۵۵۲	۲۰۰	۵/۲۱	۰/۴۱
زیرکوه					
گندم	۱۵۵	۱۵۷۵	۲۳۳	۱۰/۱۶	۱/۵۰
جو	۱۷۷	۱۴۲۲	۱۵۵	۸/۰۳	۰/۸۸
خربزه	۲۰۰	۱۵۲	۲۰	۰/۷۶	۰/۱۰
هندوانه	۲۲۸	۱۵۲	۵۰	۰/۶۷	۰/۲۲
نخود	۲۳۴	۵۰۵۶	۲۱۰	۲۱/۶۱	۰/۹۰

سطح زیر کشت پیشنهادی محصولات در الگوهای کشت با اهداف مختلف

نتایج حاصل از الگوی کشت بهینه نظام‌های تولیدی دیم منطقه به تفکیک محصول و اهداف مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که مجموع سطح زیر کشت الگوی کشت محصولات دیم منطقه در برنامه‌ریزی چندهدفه نسبت به الگوی جاری محصولات آبی کم‌تر بود. همچنین الگوی چندهدفه نسبت به الگوی جاری به تفکیک شهرستان (جدول ۴) نشان داد که سطح زیر کشت خربزه در الگوی چندهدفه نسبت به الگوی جاری در قائنات ۳ برابر و زیر کوه ۱۱ برابر نسبت به الگوی جاری افزایش داشت. این افزایش سطح زیر کشت خربزه در الگوی چندهدفه در تمام اهداف مورد بررسی مشاهده شد. دلیل افزایش سطح زیر کشت خربزه کم بودن ردپاهای آب سبز و خاکستری و بالا بودن سود خالص این محصول نسبت به سایر محصولات بود.

امروزه علاوه بر تشدید بحران کم آبی در جهان، مسئله آلودگی منابع آبی نیز روزبه‌روز شدت بیشتری می‌یابد (وال و همکاران ۲۰۱۹). بنابراین تولید گیاهانی که ردپای آب خاکستری کم‌تری دارند مانند خربزه در الگوی کشت محصولات دیم پیشنهاد می‌شود. همچنین افزایش سطح زیر کشت نخود در زیرکوه نسبت به الگوی جاری ۲ درصد، و تغییرات سطح زیر کشت نخود الگوی چندهدفه نسبت به الگوی جاری محصولات دیم در قائنات ۵۱ درصد کاهش یافت. این افزایش سطح زیر کشت زیرکوه در الگوی چندهدفه در اهداف ردپای خاکستری، و سود خالص است، که نشان دهنده سود خالص بالا و پایین بودن آلایندگی منابع آب این محصول در زیر کوه نسبت به قائنات بود. هم‌چنین برنامه‌ریزی منطقه‌ای نسبت به الگوی جاری کاهش ۵۰ درصدی سطح زیر کشت جو و هندوانه را در الگوی چندهدفه نشان می‌دهد (جدول ۴). این کاهش در الگوی چندهدفه در تمام اهداف مشاهده شد که بیانگر بالا بودن ردپای آب و پایین بودن سود این محصولات نسبت به سایر محصولات در این منطقه است. هم‌چنین کاهش ۵۱ و ۱۱ درصدی سطح زیر کشت گندم در الگوی جاری نسبت به الگوی چندهدفه به‌ترتیب در محصولات دیم زیرکوه و قائنات مشاهده شد (جدول ۴). بنابراین افزایش یا کاهش سطح زیر کشت محصولات مختلف کشاورزی باید با توجه به محدودیت منابع و هم‌چنین زمین‌های حاصل‌خیز کشاورزی صورت گیرد (گالان-مارتین و همکاران ۲۰۱۵). با توجه به کاهش بارندگی در سال‌های اخیر در ایران مطالعه و افزایش سطح زیر کشت محصولات زراعی که برداشت آب زیرزمینی را تشدید نموده است، امری ضروری است (فساخودی و همکاران ۲۰۱۰).

متغیرهای مهم در تعیین الگوی کشت

درآمد اقتصادی نقش مهمی در رونق و توسعه کشاورزی دارد، به‌طوری‌که در این مطالعه سود خالص کلیه الگوهای محصولات آبی به جز الگوی حداکثرسازی سود خالص، در حد الگوی جاری باقی ماند. در الگوی حداکثرسازی سود محصولات دیم به ازای ۷۴ دلار سود خالص بیشتر در کل منطقه، ردپای آب سبز ۱۹ درصد و ردپای آب خاکستری ۲۲ درصد نسبت به وضع موجود کاهش یافت (جدول ۵). با این وجود که سطح زیر کشت در الگوی کشت الگوی چندهدفه در حدود ۱۲۱ هکتار در شهرستان قائنات و ۵۸ هکتار در شهرستان زیرکوه نسبت به الگوی جاری کمتر است، می‌توان با مدیریت این اراضی و کشت گیاهان دارویی بصورت دیم در کنار سایر محصولات سود را نسبت به الگوی جاری در مناطق افزایش داد.

جدول ۴- سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در الگوی کشت محصولات دیم شهرستان‌های قائنات و زیرکوه به تفکیک اهداف مورد مطالعه (واحد: هکتار)

شهر	محصولات گیاهی	الگوی جاری	حداکثرسازی سود خالص	حداکثرسازی ردپای آب سبز	حداقل‌سازی ردپای آب خاکستری	برنامه ریزی چندهدفه
قائنات	گندم	۱۷۴۰	۱۵۰۳	۱۳۷۷	۱۱۷۱	۱۵۳۲
	جو	۵۵۰	۲۷۵	۲۷۵	۲۷۵	۲۷۵
	خربزه	۴۵۰	۱۴۱۵	۱۶۹۰	۱۷۴۶	۱۴۱۵
	هندوانه	۱۱۰۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰
	نخود	۱۰۳	۲۰۰	۵۰	۲۰۰	۵۰
	کل	۳۹۴۳	۳۹۴۳	۳۹۴۳	۳۹۴۳	۳۸۲۲
زیرکوه	گندم	۳۹۷	۲۰۸	۲۳۸	۱۹۸	۱۹۸
	جو	۶۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
	خربزه	۵۰	۶۴۰	۶۴۰	۶۴۰	۶۴۰
	هندوانه	۳۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰
	نخود	۵۱	۱۰۰	۲۵	۵۲	۵۲
	کل	۱۳۹۸	۱۳۹۸	۱۳۵۳	۱۳۴۰	۱۳۴۰

نتایج نشان داد در کلیه الگوهای مورد بررسی، امکان کاهش ردپای آب سبز وجود دارد. کاهش ردپای آب سبز در تمام الگوها مشاهده شد. الگوها با اهداف ردپای سبز و ردپای آب خاکستری بیشترین کاهش ردپای آب را داشتند که با اجرای این الگوها ردپای آب سبز به‌ترتیب به میزان ۲۱۹۲۳۳۵ و ۲۰۶۶۷۷۹ متر مکعب بر تن و در حدود ۳۳ و ۳۱ درصد نسبت به الگوی جاری کاهش خواهد یافت. همچنین میزان کاهش ردپای آب سبز در الگوی چندهدفه در حدود ۱۸ درصد نسبت به الگوی جاری بوده است (جدول ۵). در واقع در این مطالعه با کاهش سطح زیرکشت هندوانه، گندم، جو و نخود در قائنات و گندم، جو و هندوانه در زیرکوه، در مدل الگوی چندهدفه می‌توان مقدار ۱۸ درصد از بارندگی مورد نیاز برای تولید محصولات را ذخیره کرد. میزان ردپای آب خاکستری نیز در تمام الگوهای پیشنهادی محصولات نسبت به الگوی جاری کاهش یافت. بنابراین نتایج نشان می‌دهد با اجرای الگوی کشت بهینه، شاهد کاهش ۲۴۹۸۸۶ مترمکعب بر تن آلودگی در منطقه خواهیم بود. با افزایش سطح زیرکشت خربزه در قائنات و خربزه و نخود در زیرکوه نسبت به الگوی جاری ردپای آب خاکستری کاهش یافت. طبق یافته‌های مطالعه سهم بزرگی از آب خاکستری مربوط به استفاده از کود نیتروژن و آلودگی آب‌های زیر زمینی می‌باشد (کاستلانوس و همکاران ۲۰۱۶). بنابراین اجرای الگوی کشت بهینه استفاده از کود نیتروژن و آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی نیز کاهش خواهد یافت.

جدول ۵- میزان ردپای آب سبز و خاکستری و سود خالص در تعیین الگوی کشت محصولات آبی به تفکیک اهداف و شهرستان‌های مورد مطالعه

برنامه‌ریزی چندهدفه	حداقل‌سازی ردپای آب خاکستری ($m^3.ton^{-1}$)	حاکثرسازی ردپای آب سبز ($m^3.ton^{-1}$)	حداکثرسازی سود خالص	الگوی جاری	شهر	متغیر
۱۱۲۱	۱۱۲۱	۱۱۲۱	۱۱۸۲	۱۱۲۱	قائنات	سود خالص
۲۵۸	۲۵۸	۲۵۸	۲۷۱	۲۵۸	زیرکوه	(دلار)
۱۳۷۹	۱۳۷۹	۱۳۷۹	۱۴۵۳	۱۳۷۹	کل	
۳۶۱۴۶۲۴	۳۴۴۶۲۳۰	۳۳۹۱۹۶۷	۳۹۴۹۱۳۳	۴۸۴۲۹۹۶	قائنات	ردپای آب سبز
۱۱۱۹۵۱۹	۱۱۱۹۵۱۹	۱۰۴۸۲۲۵	۱۳۷۹۸۸۰	۱۷۸۹۵۳۱	زیرکوه	(مترمکعب بر تن)
۴۷۳۴۱۴۳	۴۵۶۵۷۴۸	۴۴۴۰۱۹۲	۵۳۲۹۰۱۳	۶۶۳۲۵۲۷	کل	
۵۹۶۰۳۱	۵۳۰۰۱۹	۵۵۷۹۱۹	۶۱۷۴۸۱	۷۵۷۴۸۰	قائنات	ردپای آب خاکستری
۱۲۳۷۷۴	۱۲۳۷۷۴	۱۲۷۵۴۷	۱۳۶۲۶۴	۲۱۲۲۱۱	زیرکوه	(مترمکعب بر تن)
۷۱۹۸۰۵	۶۵۳۷۹۳	۶۸۵۴۶۷	۷۵۳۷۴۵	۹۶۹۶۹۱	کل	

کاهش ردپای اقتصادی آب سبز و خاکستری در تمام الگوها مشاهده شد. الگوها با اهداف ردپای اقتصادی سبز و ردپای اقتصادی آب خاکستری بیشترین کاهش را داشتند. همچنین میزان ردپای اقتصادی آب از ۰/۷۹ متر مکعب بر دلار در الگوی جاری به ۰/۵۰ متر مکعب بر دلار ، در الگوی MOP رسید (جدول ۶). دلیل کاهش ردپای آب اقتصادی در الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه را می‌توان به کاهش سطح زیر کشت جو و گندم مربوط دانست. شکوهی و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای که در استان قزوین صورت گرفته است به این نتیجه رسیدند که کشاورزی به عنوان عمده‌ترین مصرف کننده آب در دشت قزوین بیشترین حساسیت را نسبت به خود برانگیخته است. در این تحقیق از مفاهیم حسابداری آب برای تعیین الگوی کشت بهینه برای مدیریت بهتر آب کشاورزی استفاده شده است. نتایج نشان داد که تعیین الگوی کشت باعث بهبود ردپای اقتصاد آب در این دشت خواهد شد.

جدول ۶ - میزان ردپای اقتصادی در تعیین الگوی کشت محصولات آبی به تفکیک اهداف و شهرستان‌های مورد مطالعه

برنامه‌ریزی چندهدفه	حداقل‌سازی رد پای آب خاکستری	حداکثرسازی ردپای آب سبز	حداکثرسازی سود خالص	الگوی جاری	شهر	متغیرها
۰/۸۴	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۸۵	۱/۱۰	قائن	حداکثرسازی ردپای آب سبز(مترمکعب بر دلار)
۳/۲۴	۳/۲۴	۳/۰۰	۳/۶۴	۴/۹۶	زیرکوه	
۴/۰۸	۴/۰۲	۳/۷۷	۴/۴۹	۶/۰۶	کل	
۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۷	قائن	حداقل‌سازی ردپای آب خاکستری (مترمکعب بر دلار)
۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۵۹	زیرکوه	
۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۵۰	۰/۷۶	کل	

نتیجه گیری

با توجه به نتایج این مطالعه به نظر می‌رسد که زارعین منطقه‌ی مورد مطالعه در تدوین الگوی کشت فعلی خود، به‌میزان مصرف آب و ردپای آب در مزارع دیم منطقه چندان توجهی ندارند. نتایج حاکی از نامطلوب بودن شرایط کشاورزی در منطقه بوده به‌طوری که محصولات مورد بررسی در منطقه زیرکوه و قائنات آب بیشتری مصرف می‌کنند و یا عملکرد کم‌تری تولید می‌کند. به‌طوری که روند افزایش سطح محصولات با ردپای آب سبز بالا از جمله گندم و جو در مزارع دیم به‌ویژه در سال‌های اخیر که با پدیده خشکسالی مواجه هستیم متناسب با ظرفیت موجود منابع آبی در شهرستان قائن و زیرکوه نیست. هم‌چنین نتایج این مطالعه نشان داد که مشکلات منطقه مورد مطالعه که به دلیل عدم تناسب میان الگوی بهره‌برداری و منابع موجود حادث گشته است را نمی‌توان به‌صورت تک بعدی و تک هدفه حل نمود. بنابراین، اصلاح الگوی کشت براساس برنامه‌ریزی چندهدفه برای بهبود مشکلات منطقه امری ضروری است .با تعیین الگوی کشت بهینه در اراضی دیم منطقه قائنات و زیرکوه، منابع آب سطحی و زیرزمینی در دسترس در این ناحیه و منابع ناشی از نزولات جوی، را با در نظر گرفتن منافع ملی و حفظ استقلال سیاسی و اقتصادی کشور حفظ خواهد شد. به‌طوری که با اجرای الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه در اراضی دیم هر دو شهرستان ردپای آب سبز در حدود ۱۸۹۸۳۸۴ متر مکعب بر تن نسبت به الگوی جاری کاهش خواهد یافت. لحاظ کردن الگوی کشت بهینه به دست آمده در این مطالعه به کشاورزان امکان می‌دهد همزمان با حفظ درآمد اقتصادی، مصرف آب را نیز کاهش دهند. بنابراین با تلفیق تکنیک‌های LCA و MOP می‌تواند به عنوان یک رویکرد پایدار در مدیریت اثرات محیطی بر کیفیت اکوسیستم مطرح باشد که ریسک‌های اقتصادی و محیطی را کاهش داده، و در عین حال وضعیت مطلوبی از لحاظ اقتصادی برای منطقه فراهم آورد.

سپاسگزاری

از حمایت مالی در چاپ مقاله که از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه زابل به شماره IR-UOZ-GR-9360 تامین شده است، تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

Ababaei B, Ramezani Etedali H. 2016. Water footprint assessment of main cereals in Iran. Agricultural Water Management, 179: 401-411.

Aldaya MM, Allan JA, Hoekstra AY. 2010. Strategic importance of green water in international crop trade. Ecological Economics, 69(4): 887–894.

Anonymous. 2011 Water accounting conceptual framework for the preparation and presentation of general purpose water accounting reports in June. Water Accounting Standard Board (WASP) Report, 64p.

Baynes T, Turner G, West J. 2011. Historical calibration of a water account system. Journal of Water Resources Management and Planning, 137(1):41-50.

Bazrafshan O, Etedali HR, Moshizi ZGN, Shamili M. 2019. Virtual water trade and water footprint accounting of Saffron production in Iran. Agricultural Water Management, 213: 368-374.

Castellanos MT, Cartagena MC, Requejo MI, Arce A, Cabello MJ, Ribas F, Tarquis AM. 2016. Agronomic concepts in water footprint assessment: A case of study in a fertirrigated melon crop under semiarid conditions. Agricultural Water Management, 170: 81-90.

Dury J, Garcia F, Reynaud A, Bergez JE. 2013. Cropping-plan decision-making on irrigated crop farms: A spatio- temporal analysis. European Journal of Agronomy, 50: 1-10.

Edreira JIR, Guilpart N, Sadras V, Cassman KG, van Ittersum MK, Schils RL, Grassini P. 2018. Water productivity of rainfed maize and wheat: a local to global perspective. Agricultural and Forest Meteorology, 259: 364-373.

Fasakhodi AA, Nouri SH, Amini M. 2010. Water resources sustainability and optimal cropping pattern in farming systems; a multi-objective fractional goal programming approach. Water Resources Management, 24(15): 4639-4657.

Feng B, Zhuo L, Xie D, Mao Y, Gao J, Xie P, Wu P. 2020. A quantitative review of water footprint accounting and simulation for crop production based on publications during 2002–2018. Ecological Indicators, 120: 106962.

Flach R, Skalský R, Folberth C, Balkovič J, Jantke K, Schneider UA. 2020. Water productivity and footprint of major Brazilian rainfed crops–A spatially explicit analysis of crop management scenarios. Agricultural Water Management, 233:105996.

Galán-Martín Á, Pozo C, Guillén-Gosálbez G, Vallejo AA, 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.

GAMS/CONOPT3, 2010. Bagsvaerdvej 246A, DK-2880 Bagsvaerd, Denmark: ARKI Consulting and Development.

Gerbens-Leenes W, Hoekstra AY, van der Meer TH. 2009. The water footprint of bioenergy. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(25): 10219-10223.

Golabi M, Hasili MA, Nasab SB. 2020. Study and evaluation of irrigation and drainage networks using analytic hierarchy process in Khuzestan Province: A virtual water approach. Agricultural Water Management, 241: 106305.

Kermatzadeh A, Chizari AH, Moore R. 2011 Economic optimal allocation of agriculture water: Mathematical Programming Approach. Journal of Agricultural Science and Technology, 13:477-490.

Lalehzari R, Boroomand Nasab S, Moazed H, Haghighi A. 2016. Multiobjective management of water allocation to sustainable irrigation planning and optimal cropping pattern. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(1): 05015008.

Manos B, Papathanasiou J, Bournaris T, and Voudouris, K. 2010. A multicriteria model for planning agricultural regions within a context of groundwater rational management. Journal of Environmental Management, 91:1593- 600.

Marzban Z, Asgharipour MR, Ganbari A, Nikouei A, Ramroudi M, Seyedabadi E. 2020a. Reducing environmental impacts through redesigning cropping pattern using LCA and MOP (case study: east Lorestan Province). Journal of Agricultural Science and Sustainable Producton, 30(3): 311-330.

Marzban Z, Asgharipour MR, Ghanbari A, Ramroudi M, Seyedabadi E. 2020b. 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, 1-16.

Marzban Z, Asgharipour MR, Ghanbari A, Ramroudi M, 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, 6: 1-19.

Nazari R, Ramezani Etedali H, Nazari B, & Collins B. (2020). The impact of climate variability on water footprint components of rainfed wheat and barley in the Qazvin province of Iran. Irrigation and Drainage, 69(4): 826-843.

Niu G, Li YP, Huang GH, Liu J, Fan YR. 2016. Crop planning and water resource allocation for sustainable development of an irrigation region in China under multiple uncertainties. Agricultural Water Management, 166: 53-69.

Parsapour S, Soltani S and Shahnoushi, N. 2017. 'Sustainable Management of Water Resources Based on Optimizing of Agricultural, Environmental and Economic Factors Using Multi Objective Linear Fractional Programming Approach: Fariman-Torbat Jam Plain. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27(1): 147-163.

Qasemipour E, Abbasi A. 2019. Virtual water flow and water footprint assessment of an arid region: A case study of South Khorasan province, Iran. Water, 11(9): 1755.

Ramezani Etedali H, Liaghat A, Parsinejad M, Tavakkoli AR, Bozorg Haddad O, Ramezani Etedali M. 2013Water allocation optimization for supplementary irrigation in rainfed lands to increase total income (case study: upstream Karkheh river basin). Journal of Irrigation and Drainage, 62: 74-83.

Ren C, Guo P, Tan Q, Zhang L. 2017. A multi-objective fuzzy programming model for optimal use of irrigation water and land resources under uncertainty in Gansu Province, China. Journal of Cleaner Production, 164: 85-94.

Ren C, Li Z, Zhang H. 2019. Integrated multi-objective stochastic fuzzy programming and AHP method for agricultural water and land optimization allocation under multiple uncertainties. Journal of Cleaner Production, 210: 12-24.

Shokoohi AR, Raziei T, DaneshkarArasteh P. 2014 On the effects of climate change and global warming on water resources in Iran. International Bulletin of Water Resources & Development, 2(4): 1-9.

Shokouhi AR, Ramezani Etedal H, Mojtabavi SA, Sing VC. 2016. Use of water footprint accounting to determine the optimal cropping pattern in sustainable development (Case study: Qazvin plain). Iran Water Resources Research, 12(13): 99-113. (In Persian)

Statistics of the Ministry of Jihad for Agriculture. 2018. (In Persian).

Symeonidou S, Vagiona D. 2019. Water Footprint of Crops on Rhodes Island. Water, 11(5): 1084.

Tulbure MG, Broich M. 2019. Spatiotemporal patterns and effects of climate and land use on surface water extent dynamics in a dryland region with three decades of Landsat satellite data. Science of The Total Environment, 658: 1574-1585.

Vale RL, Netto AM, de Lima Xavier BT, Barreto MDLP, da Silva JPS. 2019. Assessment of the gray water footprint of the pesticide mixture in a soil cultivated with sugarcane in the northern area of the State of Pernambuco, Brazil. Journal of Cleaner Production, 234: 925-932.

Woolson RF, Bean JA, Rojas PB. 1986. Sample size for case-control studies using Cochran's statistic. Biometrics, 927-932.

Xie Y, Xia D, Ji L and Huang, G. 2018. An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. Ecological indicators, 92: 301-311

Xie YL, Xia DX, Ji L, Huang GH. 2018. An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. Ecological Indicators, 92: 301-311.

Zhuo L, Mekonnen MM, Hokestra AY, Wada Y. 2016 Inter- and intra-annual variation of water footprint of crops and blue water scarcity in the Yellow River basin (1961-2009). Advances in Water Resources, 87: 29–41.

Zoumides C, Bruggeman A, Hadjikakou M, Zachariadis T. 2014. Policy-relevant indicators for semi-arid nations: The water footprint of crop production and supply utilization of Cyprus. Ecological Indicators, 43: 205-214.