اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۸، شمارهٔ ۱۱۱، پاییز ۱۳۹۹

DOI: 10.30490/AEAD.2020.252546.0

# تعیین الگوی بهینهٔ کشت محصولات زراعی با تأکید بر کاهش مصرف کود شیمیایی در بخش پاریز شهرستان سیرجان

محمد سیوندی‌نسب[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۰

**چکیده**

هدف کلی پژوهش حاضر تدوین الگوی کشت مبتنی بر کاهش سطح به‌کارگیری کود شیمیایی در بخش پاریز شهرستان سیرجان واقع در استان کرمان بود. به‌منظور تبیین اهداف مطالعه، از رهیافت برنامه‌ریزی چندهدفه استفاده شد. همچنین، با توجه به تفاوت میان مقیاس فعالیت بهره‌برداران، ابتدا با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و بر اساس مقیاس فعالیت، بهره‌برداران به دو گروه (با سطح زیر کشت کمتر از سه و بیشتر از سه هکتار) تقسیم شدند. در نهایت، اولویت‌بندی الگوهای کشت با استفاده از رهیافت فازی صورت گرفت. نتایج الگوهای بهینه برای بهره‌برداران گروه اول نشان داد که تنها دو محصول گندم و جو در الگوهای بهینه انتخاب

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهربابک، ایران. (sivandinasab@gmail.com)

شده و الگوی بهینه برای این گروه دارای تنوع محصولی کمتری نسبت به الگوی فعلی است. همچنین، نتایج نشان داد که در خصوص بهره‌برداران گروه دوم، در الگوی حداقل مصرف کود شیمیایی، حداکثر بازده ناخالص در سطح فعلی خود باقی مانده، در حالی که برای بهره‌برداران گروه دوم، مقادیر مصرف آب و کود شیمیایی کمتر از الگوی فعلی است. نتایج رتبه‌بندی الگوهای مختلف با استفاده از رهیافت فازی با توجه به اهداف افزایش بازده ناخالص، کاهش مصرف آب و کود شیمیایی در گروه دوم بهره‌برداران نشان داد که الگوهای دارای اولویت پایین‌تر ترجیحاً بازده ناخالص را در سطح فعلی آن حفظ و مقادیر آب و کود شیمیایی مصرفی را به مقادیر بهینهٔ آنها نزدیک می‌کنند. در الگوهای دارای اولویت بالاتر، عمدتاً به هدف افزایش بازده ناخالص توجه بیشتری شده است. بر اساس نتایج مطالعه، چنانچه هدف بهره‌بردار افزایش بازده ناخالص باشد، می‌توان در الگوی کشت، محصولات گندم و جو را برای بهره‌برداران گروه اول و محصولات گندم، جو، کنجد و یونجه را برای بهره‌برداران گروه دوم در نظر گرفت.

***کلیدواژه‌ها:*** *الگوی زیست‌محیطی، الگوی بهینه، آب، کود شیمیایی، برنامه‌ریزی چندهدفه، پاریز (بخش)، سیرجان (شهرستان).*

**طبقه‌بندی JEL :** R14, Q15, Q24

**مقدمه**

محیط زیست در تولید مواد غذایی همانند سایر تولیدات چند نقش مهم را بر عهده دارد. محیط زیست، از یک‌سو، مواد مورد نیاز برای تولید را فراهم می‌کند و از سوی دیگر، مواد زائد و مازاد تولید را در خود جای می‌دهد. با توجه به اهمیت استفاده پایدار از محیط زیست، لازم است در خصوص استفاده از آن دقت بیشتری شود (Esmaeili, 2004). این موضوع در مورد عوامل تولید کشاورزی از اهمیت بیشتری برخوردار است. در حال حاضر، بالا

بودن میزان تولید برخی از محصولات در گرو استفادهٔ بیشتر از عوامل تولید و به‌ویژه کود شیمیایی است. بر پایهٔ نتایج مطالعهٔ کریم‌زادگان و همکاران (Karimzadegan et al., 2006)، بسیاری از استان‌های کشور بیش از حد بهینه از کود شیمیایی استفاده می‌کنند. استفاده بیش از حد از کود شیمیایی، با توجه به توزیع یارانه‌ای آن، ممکن است به خاک مورد استفاده آسیب برساند. بنابراین، تعیین الگوی بهینه کشت مبتنی بر ملاحظات زیست‌محیطی و به‌ویژه کاهش مصرف کود شیمیایی در کشاورزی می‌تواند به مدیریت اثرات خارجی بسیار کمک کند.

در کشاورزی، استفاده از کودهای دارای منشأ نیتروژن از نهاده‌های مهم در تولید است. استفاده بیشتر از نیتروژن منجر به نفوذ آن به داخل آب‌های زیرزمینی شده، موجب آلودگی می‌شود. بر همین اساس، در برخی از مطالعات، الگوی حاوی حداقل مصرف کود شیمیایی در قالب الگوی مطلوب به لحاظ زیست‌محیطی عنوان شده است (Ten Berge et al., 2000; Latinopoulos and Mylopoulos, 2005). عواملی که باعث آلودگی به‌صورت تجمع نیتروژن در آب‌های زیرزمینی می‌شوند، از نوع منابع آلودگی غیرنقطه‌ای[1] به‌شمار می‌روند. استفاده از کود شیمیایی، کود حیوانی و مزارع پرورش دام از منابع ایجاد آلودگی غیرنقطه‌ای است. برای جلوگیری از این منابع آلودگی، ابتدا باید میزان سطح حداکثر آلودگی تعیین شود؛ سپس، برآوردی از مقدار نیتروژن مورد استفاده در قالب نهاده‌هایی همچون کود شیمیایی یا کود حیوانی صورت گیرد (Almasri and Kaluaracjchi, 2004). به‌طور کلی، راهکارهای مطرح برای مدیریت اثرات خارجی شامل دخالت دولت و ابزارهای کنترل است. در صورتی که فعالیت فرد به‌گونه‌ای باشد که اثرات خارجی زیست‌محیطی نیز به‌طور کامل متوجه فعالیت وی شود، نیازی به دخالت دولت نخواهد بود. دخالت دولت از طریق ایجاد و تقویت برخی از فعالیت‌ها می‌تواند منجر به وارد شدن اثرات خارجی در تصمیمات واحدهای خصوصی شود. در صورتی که فعالیت افراد به‌گونه‌ای باشد که اثرات خارجی در تصمیمات دخالت داده نشود، لازم است دولت دخالت

1. non-point

کند.

شایان یادآوری است که نظام‌های کشاورزی به‌کار رفته در بیشتر کشورهای جهان سوم از جمله ایران، که با عنوان «نظام متعادل» مطرح است، به‌شدت بر به‌کارگیری نهاده‌ها تأکید دارد. این در حالی است که در این کشورها، نه‌تنها هیچ برنامه‌ای در راستای فاصله گرفتن از کشاورزی متداول مشاهده نمی‌شود، بلکه تخریب بیشتر محیط زیست اتفاق افتاده است (Kouchaki, 1997). در مناطقی که ویژگی‌های اقلیمی و محیطی عامل محدودکنندهٔ تولید محصولات کشاورزی است– مانند مناطق خشک و نیمه‌خشک که ایران هم در چنین اقلیمی قرار دارد– این چالش اهمیت بیشتری دارد و از این‌رو، مطالعه در خصوص تدوین الگوی کشت بهینه در این مناطق به‌منظور جلوگیری از تخریب محیط زیست بسیار حائز اهمیت است.

رن و همکاران (Ren et al., 2017)، با بهره‌گیری از یک روش برنامه‌نویسی فازی چندهدفه برای بهینه‌سازی هم‌زمان استفاده از منابع آب و زمین به‌منظور آبیاری در شرایط عدم اطمینان، این مدل توسعه‌یافته را در منطقه ووی در استان گانسو[1] چین به‌کار گرفتند. در این مطالعه، منافع اجرایی، اقتصادی و زیست‌محیطی به‌عنوان اهداف برنامه‌ریزی در نظر گرفته شد. علاوه بر این ، تغییرات تقاضای آب آبیاری با بارندگی، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق در مدل توسعه‌یافته در نظر گرفته شده و برنامه‌های بهینه آبیاری در سطوح احتمالی متفاوت پارامترهای فازی به‌دست آمده است.

ایکودابیسی و همکاران (Ikudayisi et al., 2018)، با کاربرد شیوهٔ تکامل تفاضلی چندهدفهٔ پارتوی ترکیبی[2] به‌منظور بهینه‌سازی تخصیص آب آبیاری و توزیع محصول در شرایط دسترسی محدود به آب با سه محصول مختلف (ذرت، سیب‌زمینی و بادام زمینی) در طرح آبیاری Vaalharts در آفریقای جنوبی، بدین نتیجه رسیدند که با اختصاص محدود آب در منطقه مورد مطالعه، ذرت بیشترین عملکرد تولید را داشته است.

1. Wuwei, Gansu province
2. Combined Pareto Multi-objective Differential Evolution (CPMDE)

مردانی نجف‌آبادی و همکاران (Mardani Najafabadi et al., 2019) مدلی را برای بهینه‌سازی تصمیمات الگوی کشت منطقه‌ای ارائه کردند. به‌منظور ارزیابی مدل پیشنهادی، اراضی کشاورزی قابل کشت واقع در بخش‌های سیاسی- جغرافیایی ۲۳ شهرستان استان اصفهان انتخاب شد. بر اساس نتایج این مطالعه، کاهش سطح زیر کشت بهینه گروه‌های غلات و علوفه، به‌ترتیب، ۲۶ و پنج درصد و افزایش سطح زیر کشت محصولات باغی به میزان ده درصد بود. بر پایهٔ یافته‌های این تحقیق، برای دستیابی به اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در چارچوب یک برنامه‌ریزی چندمنظوره، کاهش شانزده درصدی سطح زیر کشت در استان اصفهان اجتناب‌ناپذیر است.

قربانیان و همکاران (Ghorbanian et al., 2013) به تعیین الگوی بهینه کشت در دشت کوار با توجه به محدودیت منابع آب زیرزمینی پرداختند. نتایج نشان داد که هدف بیشترین سود، در مقایسه با هدف بیشینه‌سازی مطلوبیت، سود بیشتری ایجاد می‌کند، اما مقدار مصرف آب نیز بیشتر خواهد بود؛ همچنین، مقدار مصرف آب با مخاطره‌گریزی کشاورز رابطه عکس دارد و بهره‌بردار مخاطره‌گریز از تمامی امکانات آبی خود استفاده نمی‌کند.

امیرنژاد و بهمن‌پوری (Amirnejad and Bahmanpouri, 2013)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی، الگوی بهینه کشت را با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی دشت بیضا در استان فارس تعیین کردند. نتایج نشان داد که در مدل برنامه‌ریزی آرمانی، محصولات گوجه‌فرنگی و لوبیا چیتی از الگو حذف و محصولات پیاز و ذرت دانه‌ای وارد الگو شدند. افزون بر آن، میزان مصرف آب، کود شیمیایی و سم در مقایسه با شرایط فعلی کاهش نشان داد.

زمانی و همکاران (Zamani et al., 2014)، در تعیین الگوی کشت با تأکید بر مصرف بهینه انرژی و کشاورزی پایدار در شهرستان سقز در استان کردستان با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی آرمانی، به تعیین الگوی کشت در سه ساختار و دو سطح اولویت پرداختند. نتایج نشان داد که الگوی کشت با اولویت اقتصادی بیشترین درآمد ناخالص را ایجاد و از بیشترین

نیروی کار استفاده می‌کند؛ همچنین، این سطح اولویت بیشترین تأثیر مخرب را بر محیط زیست بر جای می‌گذارد.

عرفانی‌فر و همکاران (Erfanifar et al., 2014)، در پژوهشی به‌منظور تعیین الگوهای کشت بهینه مبتنی بر اهداف انفرادی به‌همراه الگوی کشت چندهدفه شامل حداکثرسازی بازده برنامه‌ای، حداقل‌سازی مصرف کود اوره، حداکثرسازی امنیت غذایی (تولید انرژی) و حداقل‌سازی مصرف آب و با تأکید بر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در منطقه داراب با استفاده از روش برنامه‌ریزی چندهدفه آرمانی فازی، چنین نتیجه گرفتند که در الگوی چندهدفه، شاخص‌های بازده برنامه‌ای و امنیت غذایی، به‌ترتیب، به میزان ۲۳/۵ و ۶/۱ درصد نسبت به الگوی فعلی افزایش و شاخص‌های مصرف انرژی و آب، به‌ترتیب، به میزان ۵/۲ و چهار درصد کاهش یافت. در این الگو، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی جایگزین خاک‌ورزی مرسوم شدند و مقدار مصرف سوخت سالانه در مزرعه نماینده به میزان ۲۷ درصد کاهش یافت.

جولایی و همکاران (Joulayee et al., 2016)، در تحقیقی با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی به‌منظور بهینه‌سازی الگوی کشت استان مازندران، با اهداف بیشینه‌سازی بازده برنامه‌ای (الگوی یک)، حفاظت از محیط زیست (الگوی دو)، افزایش اشتغال (الگوی سه)، توسعه پایدار منابع آبی (الگوی چهار) و دستیابی هم‌زمان به اهداف یادشده (الگوی پنج)، بدین نتیجه رسیدند که با ایجاد مصالحه و توازن بین اهداف چهارگانهٔ یادشده، الگوی پنج توصیه‌ای بینابین و جامع‌نگر برای الگوی کشت استان ارائه می‌کند، به‌گونه‌ای که با چهار درصد افزایش در بازده برنامه‌ای فعلی و به‌طور متوسط با ۲/۸۵ درصد کاهش مصرف کودهای شیمیایی، ۰/۳۸ درصد کاهش مصرف سموم دفع آفات، ۸/۴۸ درصد افزایش اشتغال و ۰/۹۹۸۷ درصد کاهش مصرف آب، به‌طور نسبی، تمام اهداف تحقیق را تأمین می‌کند.

میرزایی و همکاران (Mirzaei et al., 2018)، در تحقیقی با هدف تعیین الگوهای کشت بهینه محصولات کشاورزی بخش مرکزی شهرستان سیرجان، با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی به‌گونه‌ای جداگانه و هم‌زمان با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی

ساده و مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه با استفاده از روش مقید تعمیم‌یافته، نتیجه گرفتند که در حالات وزنی گوناگون برای مزارع کوچک‌تر از پنج هکتار، محصول یونجه سطح زیر کشت کمتر و محصول جو در الگوهای بهینه با وزن بیشتر اهداف کمینه‌سازی مصرف آب و کود شیمیایی، سطح زیر کشت بیشتری نسبت به الگوی کنونی را به خود اختصاص می‌دهد؛ اما در الگوهای بهینه با وزن بیشتر هدف بیشینه‌سازی بازده ناخالص و وزن یکسان اهداف، محصول پیاز جایگزین این محصول می‌شود. همچنین، نتایج برای مزارع بزرگ‌تر از پنج هکتار نشان داد که برای تأمین هم‌زمان اهداف، باید محصول یونجه کمتر و محصولات جو و پیاز بیشتر از الگوی کنونی کشت شوند. بر اساس نتایج این تحقیق، مزارع بزرگ‌تر از لحاظ سوددهی بهتر از مزارع کوچک‌تر عمل کرده و اما از لحاظ مصرف آب، کارآ عمل نکرده‌اند.

بررسی مطالعات پیشین بیانگر آن است که در منطقه مورد نظر، مطالعه‌ای در خصوص تعیین الگوی بهینه کشت با تأکید بر کاهش مصرف کود شیمیایی با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی چندهدفه و همچنین، با بهره‌گیری از روش‌های تحلیل خوشه‌ای و تحلیل فازی صورت نگرفته است. شایان یادآوری است که وجوه برتری مطالعه حاضر را می‌توان در دو مقوله بیان کرد. وجه نخست در استفاده از روش‌های یادشده به‌طور توأمان برای تبیین اهداف تحقیق است؛ و وجه دوم به انتخاب منطقه مطالعه برمی‌گردد. به دیگر سخن، در بخش پاریز شهرستان سیرجان، تاکنون مطالعه‌ای با هدف تعیین الگوی بهینه کشت صورت نگرفته است. بنابراین، ضرورت و اهمیت تحقیق حاضر در این منطقه و به‌طور مشخص، بخش پاریز شهرستان سیرجان، بیش از پیش احساس می‌شد.

شهرستان سیرجان در منطقه خشک کشور واقع شده و با مشکل کم‌آبی مواجه است. در این شرایط، با توجه به کاهش سطح آب زیرزمینی در این منطقه و ضرورت مدیریت صحیح استفاده از دیگر نهاده‌های تولید به‌ویژه کود شیمیایی و سموم در راستای تحقق اصول کشاورزی پایدار، تعیین الگوی کشت با در نظر داشتن نکات پیش‌گفته و همچنین، بیشینه‌سازی بازدهی و درآمد بهره‌برداران این منطقه بیش از پیش حائز اهمیت است (Mirzaei et al., 2018). لازم به

ذکر است که طی سال‌های اخیر، استفاده بیش از حد و غیرمعقول از مواد شیمیایی در کشاورزی و استفاده بی‌رویه از آب و به‌کارگیری روش‌های نامناسب آبیاری وضعیت ناپایداری را در فعالیت‌های کشاورزی کشور پدیدد آورده است. با توجه به آنچه گفته شد، هدف کلی مطالعه حاضر تدوین الگوی کشت بهینه در بخش پاریز شهرستان سیرجان با تأکید بر کاهش استفاده از کود شیمیایی است. البته در مطالعهٔ حاضر، سعی شد که کاهش سطح به‌کارگیری کود شیمیایی در حضور اهداف متعدد بهره‌برداران و همچنین، با نگاه به کاهش مصرف آب به‌عنوان مهم‌ترین نهادهٔ کمیاب مورد توجه قرار گیرد.

## روش تحقیق

### برنامه‌ریزی چندهدفه

هدف زیست‌محیطی عمدتاً در قالب یک هدف کلان و فراتر از مزرعه مورد توجه بوده و از این‌رو، اغلب در مطالعات و پژوهش‌ها، هدف حفاظت از محیط زیست در کنار سایر اهداف در الگو مد نظر است. بدین منظور، باید از رهیافتی استفاده کرد که بتواند چند هدف را مد نظر قرار دهد. برای نمونه، رن و همکاران (Ren et al., 2017) منافع اجرایی، اقتصادی و زیست‌محیطی را به‌عنوان اهداف برنامه‌ریزی در مدل در نظر گرفته‌اند. مطالعاتی همچون لاتینوپولوس و میلوپولوس (Latinopoulos and Mylopoulos, 2005) هدف زیست‌محیطی را به‌صورت کاهش کود شیمیایی یا کاهش ورود نیتروژن به خاک لحاظ کرده‌اند. در الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه، بهره‌برداران و همچنین، سیاست‌گذاران چند هدف را توأمان دنبال می‌کنند که البته لزوماً هم‌راستا نیستند. شکل ریاضی الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه را می‌توان به‌صورت زیر نوشت (Francisco and Mubarik, 2006):

$$Max\, Z(x) = (Z_1(x), Z_2(x), ..., Z_h(x), ..., Z_k(x)), \quad (۱)$$

$$Z_1(x) = Z1(x_1, x_2, ..., x_n)$$
$$Z_2(x) = Z2(x_1, x_2, ..., x_n)$$

$$Z_k(x) = Zk(x_1, x_2, ..., x_n)$$
$$Subject\ to: \quad X \in F, X \geq 0$$

که درآن، $Z = (Z_1, Z_2, ..., Z_K)$ بردار توابع هدف با اجزای Zi (i=1,2,…,k) توابع هدف انفرادی و Xi(i=1,2,…,n) سطح زیر کشت اختصاص‌یافته به محصولi است.

در تحقیق حاضر، اهداف زیست‌محیطی شامل کاهش استفاده از آب و کود شیمیایی است. بدین منظور، برای بهره‌برداران منتخب منطقه مورد مطالعه (بخش پاریز شهرستان سیرجان)، ابتدا مجموعه الگوهایی با هدف بهینه‌سازی بر اساس هر کدام از اهداف زیست‌محیطی با حفظ سایر اهداف در سطح فعلی ارائه شده است.

در روش مقید برنامه‌ریزی چندهدفه، جواب‌های متعدد به‌دست می‌آید و از این‌رو، برای انتخاب از میان این جواب‌ها، می‌توان از تحلیل خوشه‌ای استفاده کرد (Raju and Kumar, 1999). همچنین، می‌توان با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی فازی، به اولویت‌بندی الگوها پرداخت (Rani Basumatary and Mitra 2020; Berenger and Verdier-Chouchane, 2007). در مطالعهٔ حاضر، با توجه به امکان اولویت‌بندی دقیق الگوها با استفاده از منطق فازی، از این روش برای اولویت‌بندی الگوها و از رهیافت تحلیل خوشه‌ای به‌منظور تفکیک بهره‌برداران به گروه‌های همگن استفاده شده است.

**تحلیل خوشه‌ای**

در بررسی حاضر، از تحلیل خوشه‌ای دومرحله‌ای استفاده شد. در رهیافت تحلیل خوشه‌ای دومرحله‌ای، ابتدا تعداد گروه‌ها مشخص می‌شود و سپس، با استفاده از روش k-میانگین، گروه‌بندی صورت می‌گیرد. روش k- میانگین برای دسته‌بندی مشاهدات، ابتدا هر قلم را به خوشه‌ای نسبت می‌دهد که دارای نزدیک‌ترین فاصله (میانگین) به مشاهده مرکزی است؛ سپس، فاصله اقلیدسی هر مشاهده را از مرکز دسته‌ها محاسبه می‌کند و آن را مجدداً به

نزدیک‌ترین دسته تخصیص می‌دهد. فاصله اقلیدسی بین دو مشاهده به شکل زیر است (Johnson and Witchern, 2000):

$$d(x,y) = \sqrt{(x-y)'A(x-y)} \qquad (۲)$$

که در آن، $A = S^{-1}$ و S ماتریس واریانس‌ها و کواریانس‌های نمونه است. در مقایسه با روش‌های رقیب برای خوشه‌ای کردن، این روش ترجیح داده می‌شود (Johnson and Witchern, 2000). مزیت این روش در آن است که بدون نیاز به اطلاع از تعداد خوشه‌های قابل تقسیم، می‌توان مشاهدات را تقسیم‌بندی کرد.

**تحلیل فازی**

در فرآیند فازی، خروجی با توجه به تابع عضویت تعیین‌شده با برآورد قواعد و محاسبه نتیجه فازی به‌دست می‌آید. آنگاه استدلال و استنتاج ترکیب منطقی از خروجی‌های قواعد انجام می‌گیرد. منطق فازی از همه قواعد نوشته‌شده برای برآورد خروجی استفاده می‌کند. ورودی یک تابع عضویت، با دارا بودن شرایط بیان‌شده در قسمت، یک خروجی خواهد داد. مقدار نهایی به‌صورت فازی سطح منحنی از ترکیب منطقی نتایج قواعد حاصل می‌شود. بر اساس آنچه آنچه شد، فرض می‌شود که $i \in [1, N]$ و N تعداد الگوهای ارائه‌شده توسط رهیافت برنامه‌ریزی چندهدفه بوده و $j \in [1, M]$ نیز اهداف مورد استفاده است. همچنین، فرض می‌شود که $x_j$ مقداری است که هدف j برای الگوی i اختیار می‌کند. اگر مقادیر اهداف مورد استفاده به‌صورت نزولی رتبه‌بندی شود - که طی آن، مقادیر بالاتر برای هدف یادشده به معنی اولویت بیشتر باشد - آنگاه تابع عضویت شاخص j را می‌توان برای منطقه $\mu_j(i)$ بدین صورت زیر تعریف کرد (Rani Basumatary and Mitra, 2020; Gupta et al., 2018):

$$\mu_j(i)=\begin{cases}1 & if \quad x_j^i \geq x_j^{\max}\\ \dfrac{x_j^i - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} & if \quad x_j^{\min} \leq x_j^i \leq x_j^{\max}\\ 0 & if \quad x_j^i \leq x_j^{\min}\end{cases} \qquad (۳)$$

که در آن، $x_j^{\min} = Min_i(x_j^i)$ و $x_j^{\max} = Max_i(x_j^i)$. تابع $\mu_j(i)$ درجه برخورداری iامین الگو را نسبت به هدف j اندازه‌گیری می‌کند. برای فازی‌سازی اهداف مطالعه، می‌توان از تابع عضویت بالا استفاده کرد. توابع یادشده توابعی افزایشی از درجه برخورداری الگو بوده و مقادیری بین صفر و یک اختیار می‌کنند. از این تابع عضویت نیز برای رتبه‌بندی سطح بازدهی الگوها استفاده شده است.

به‌منظور ایجاد امکان مقایسه بین اهداف، لازم است که به‌گونه‌ای، اهداف لحاظ‌شده در مدل متجانس شوند (Gupta et al., 2018). در مطالعهٔ حاضر، با بهره‌گیری از روش پیشنهادی سریولی و زانی (Cerioli and Zani, 1990) برای تابع عضویت اهداف مورد استفاده، میانگین وزن هندسی به‌صورت زیر تعییین شده است:

$$\mu(i)=\sum_{i=1}^{M} w_j \mu_j(i) \qquad (۴)$$

که در آن، $w_j \geq 0$ و $\sum_{j=1}^{M} w_j = 1$ بوده و $w_j$ وزن هدف j است.

محدویت‌های الگو شامل محدودیت زمین، آب، نیروی کار، سرمایه، تناوب زراعی و محدودیت‌های خاص روش حل مقید برنامه‌ریزی چندهدفه (شامل محدودیت سطح بازده مشخص و میزان معین از مصرف آب و کود شیمیایی) است. مقدار آب در دسترس و همچنین، میزان آب مورد نیاز برای ماه‌های مختلف متفاوت بوده و از این‌رو، محدودیت آب در قالب نُه

محدودیت لحاظ شده است. نیروی کار نیز با استفاده از هفت محدودیت لحاظ شده است. به‌منظور تدوین محدودیت زمین، ابتدا تقویم کشت محصولات مورد کشت بهره‌برداران تهیه شد و با توجه به اشتراک استفاده آنها از زمین در قالب پنج محدودیت مجزا لحاظ شده است. در محدودیت سرمایه، ضرایب متغیرهای کشت (محصولات) برابر با هزینه متغیر محصولات و مجموع سرمایه در دسترس معادل کل هزینه‌های متغیر الگوی فعلی در نظر گرفته شده است. در محدودیت‌های سطح بازدهی مشخص نیز در سمت چپ ضرایب تابع هدف مورد استفاده قرار گرفت. در خصوص محدودیت آب نیز ضرایب یادشده همان ضرایب آب مصرفی محصولات بوده است.

با توجه به آنچه گفته شد، در تحقیق حاضر، سه هدف شامل کاهش مصرف آب و کود شیمیایی به‌عنوان اهداف زیست‌محیطی و افزایش بازده ناخالص به‌عنوان هدف بهره‌برداران در ارائهٔ الگوهای بهینه مورد توجه قرار گرفتند. با توجه به روش حل مقید در رهیافت برنامه‌ریزی چندهدفه که در مطالعهٔ حاضر نیز مورد استفاده قرار گرفت، ابتدا برای هر کدام از اهداف یک الگوی بهینه مشروط بر محدودیت‌های متعارف و همچنین، حفظ سایر اهداف در سطح الگوی فعلی بهره‌برداران برآورد شد. سپس، در بازه میان مقدار بهینه هدف و سطح فعلی آن، الگوهای متعدد و البته همواره مشروط بر حفظ سطح فعلی سایر اهداف برآورد شد.

**داده‌ها و اطلاعات**

جامعه آماری تحقیق شامل کلیه کشاورزان بخش پاریز شهرستان سیرجان (حدود ۲۰۳۰ نفر) در استان کرمان بوده که در سال ۱۳۹۶، اقدام به کشت محصولات زراعی کردند. داده‌های مورد نیاز در خصوص سطح زیر کشت فعلی محصولات، میزان مصرف نهاده‌ها، عملکرد در واحد سطح و میزان تولید محصولات در منطقه از طریق تکمیل پرسشنامه و مصاحبه حضوری با بهره‌برداران شهرستان سیرجان در استان کرمان در سال ۱۳۹۶ به‌دست آمد. به‌منظور تعیین حجم نمونه، از رابطهٔ کوکران استفاده شد که بر این اساس، حجم نمونه برابر با ۳۲۳ به‌دست آمد و در

نهایت، پرسشنامه‌ها با انتخاب ۳۲۳ کشاورز به‌صورت تصادفی تکمیل شد. سایر اطلاعات مورد نیاز تحقیق نیز از سالنامه‌های آماری استان کرمان جمع‌آوری شد.

## نتایج و بحث

در پژوهش حاضر، برای تعیین الگوی بهینه کشت در منطقه مورد مطالعه، از روش برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شد که نتایج تعیین الگوهای بهینه کشت در منطقه مورد مطالعه با لحاظ اهداف حداکثرسازی بازده، حداقل‌سازی مصرف کود شیمیایی و حداقل‌سازی مصرف آب به‌تفکیک برای دو گروه بهره‌بردار (بهره‌برداران با سطح زیر کشت زیر سه هکتار و بهره‌برداران با سطح زیر کشت بیش از سه هکتار) مشخص شد. شایان یادآوری است که تفکیک بهره‌برداران به این دو گروه بر اساس تحلیل خوشه‌ای صورت گرفته است.

### الف) الگوهای بهینه بهره‌برداران با سطح زیر کشت زیر سه هکتار (گروه اول)

جدول ۱ نشان‌دهندهٔ الگوهای بهینه برای بهره‌برداران گروه اول به‌تفکیک هر کدام از اهداف است. لازم به ذکر است که میانگین سطح زیر کشت در این گروه حدود ۲/۹ هکتار است. در میان بهره‌برداران در الگوهای سه‌گانهٔ ارائه‌شده، تنها دو محصول گندم و جو انتخاب شده است و دو محصول عدس و لوبیا در هیچ‌کدام از الگوها جای نگرفته‌اند. از نکات درخور توجه وجود تفاوت در دو الگوی حداقل‌سازی مصرف آب و حداقل‌سازی مصرف کود شیمیایی است؛ به دیگر سخن، در الگوی حداقل‌سازی مصرف آب، سطح زیر کشت جو بیشتر از گندم است. بر اساس نتایج، سطح زیر کشت گندم در الگوی بهینه‌سازی حداکثر بازدهی کمتر از سطح زیر کشت این محصول در دو الگوی دیگر است.

**جدول ۱- مقایسه الگوی فعلی و بهینه برای بهره‌برداران گروه اول بر حسب اهداف مورد نظر**

| محصول | الگوی فعلی | الگوی بهینه حداکثر بازدهی | الگوی بهینه حداقل مصرف آب | الگوی بهینه حداقل مصرف کود شیمیایی |
|---|---|---|---|---|
| گندم | ۱/۴ | ۱/۱ | ۱ | ۱/۳ |
| جو | ۱/۲ | ۱/۸ | ۱/۹ | ۱/۶ |
| عدس | ۰/۲ | – | – | – |
| لوبیا | ۰/۱ | – | – | – |
| بازده ناخالص (میلیون ریال) | ۳۶/۲۱ | ۴۹/۳۱ | ۳۶/۱ | ۳۶/۷۶ |
| درصد تغییر بازده ناخالص | – | ۳۶/۱۷ | -۰/۰۰۳ | ۱/۵ |
| مصرف آب (مترمکعب) | ۱۵۳۷۴/۵ | ۱۵۲۸۶/۹ | ۱۵۱۱۲ | ۱۵۱۶۸/۱ |
| درصد تغییر مصرف آب | – | -۰/۰۰۶ | -۱/۷ | -۱/۳ |
| مصرف کود شیمیایی (کیلوگرم) | ۵۵۰ | ۶۳۰ | ۳۹۰ | ۳۱۰ |
| درصد تغییر مصرف کود شیمیایی | – | ۱۴/۵ | -۳۰ | -۴۳/۶ |

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که جدول ۱ نشان می‌دهد، در الگوهای حداقل مصرف آب و حداقل مصرف کود شیمیایی، علی‌رغم اینکه بازده ناخالص تقریباً در سطح قبلی خود باقی مانده، اما سایر اهداف نیز حداقل در سطح فعلی آنها تأمین شده است. به دیگر سخن، مصرف آب و کود شیمیایی نسبت به مقدار فعلی کاهش یافته است. بدین ترتیب، می‌توان گفت که در الگوهای ارائه‌شده، ضمن تأمین هدف بازده در سطح فعلی، از نهاده‌های آب و کود شیمیایی کمتر از الگوی فعلی استفاده می‌شود. مطابق یافته‌ها، الگوی فعلی در مقایسه با الگوهای بهینه از تنوع بیشتری برخوردار است.

### الگوهای بهینه بهره‌برداران گروه اول در سطوح مختلف مصرف کود شیمیایی

بر اساس نتایج جدول ۲، محدودیت نهاده کود شیمیایی تعیین‌کننده نیست. نکته حائز اهمیت در الگوهای این جدول آن است که ضمن کاهش مصرف کود شیمیایی به سطوح کمتر از سطح فعلی آن، می‌توان بازده ناخالص فعلی را همراه با کاهش مصرف آب به‌دست آورد و این نکته را می‌توان یک بهبود حتمی در الگو تلقی کرد. در این الگوها نیز تنها دو محصول گندم و جو دارای اولویت شده‌اند.

**جدول ۲- مقایسه الگوی کشت فعلی و بهینه بهره‌برداران گروه اول در سطوح مختلف مصرف کود شیمیایی**

| محصول | الگوی فعلی | الگوی اول | الگوی دوم | الگوی سوم | الگوی چهارم | الگوی پنجم |
|---|---|---|---|---|---|---|
| گندم | ۱/۴ | ۱/۳ | ۱/۱ | ۱ | ۰/۹ | ۰/۹ |
| جو | ۱/۲ | ۱/۶ | ۱/۸ | ۱/۹ | ۲ | ۲ |
| عدس | ۰/۲ | – | – | – | – | – |
| لوبیا | ۰/۱ | – | – | – | – | – |
| بازده ناخالص (میلیون ریال) | ۳۶/۲۱ | ۳۶/۲۱ | ۳۶/۲۱ | ۳۶/۲۱ | ۳۶/۲۱ | ۳۶/۲۱ |
| مصرف آب (مترمکعب) | ۱۵۳۷۴/۵ | ۱۵۱۶۸/۱ | ۱۴۸۹۳/۴ | ۱۴۱۳۶/۷ | ۱۳۹۰۱/۹ | ۱۳۴۳۰/۸ |
| درصد تغییر | – | -۱/۳ | -۳/۱ | -۸ | -۹/۶ | -۱۲/۶ |
| مصرف کود شیمیایی (کیلوگرم) | ۵۵۰ | ۳۱۰ | ۳۹۰ | ۴۵۰ | ۵۱۰ | ۵۴۰ |
| درصد تغییر | – | -۴۳/۶ | -۲۹ | -۱۸/۲ | -۷/۳ | -۱/۸ |

مأخذ: یافته‌های پژوهش

مطابق نتایج جدول ۲، در سطح بازده ناخالص الگوی فعلی، با افزایش سطح مصرف کود شیمیایی، میزان مصرف آب کاهش یافته است. بدین ترتیب، می‌توان گفت که لزوماً امکان تحقق کاهش هر دو نهاده زیست‌محیطی به‌صورت توأمان بسیار محدود خواهد بود و لازم است به نقش جانشینی این دو نهاده که از نظر اهداف زیست‌محیطی دارای اهمیت خاص است، توجه بیشتری شود. بر اساس نتایج، مشاهده می‌شود که در الگوهای مورد بررسی، ضمن کاهش مصرف نهاده‌های آب و کود شیمیایی، امکان دسترسی به سطح فعلی بازده ناخالص وجود دارد.

## اولویت‌بندی الگوهای بهینه با استفاده از رهیافت فازی برای بهره‌برداران گروه اول

از میان الگوهای مختلف ارائه‌شده، بر اساس رهیافت فازی و با توجه به اهداف افزایش بازده ناخالص، کاهش مصرف آب و کود شیمیایی پنج الگوی حاوی بالاترین رتبه انتخاب شده، که در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، الگوی دارای رتبه اول با شاخص فازی ۰/۵۸۳ قادر است حداکثر بازده ناخالص را در سطح فعلی مصرف کود شیمیایی

ارائه کند، ضمن اینکه هدف کاهش میزان مصرف آب نیز نسبت به سطح فعلی آن کاهش یافته است. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، سطح بازده ناخالص در الگوهای اول و دوم بیشتر از الگوهای سوم، چهارم و پنجم است. در الگوهای سوم تا پنجم، سطح بازده ناخالص در سطح فعلی باقی مانده است. در الگوی دوم، سطح بازده ناخالص نسبت به مقدار فعلی افزایش نشان می‌دهد. در این الگو، به‌موازات بهبود وضعیت بازده ناخالص، میزان مصرف آب و همچنین، مصرف کود شیمیایی در مقایسه با مقادیر فعلی کاهش نشان می‌دهد. در الگوی سوم، با شاخص فازی ۰/۵۵، سطح بازده ناخالص به مقدار فعلی آن رسیده، در حالی که میزان مصرف آب و کود شیمیایی کاهش یافته است. در الگوهای چهارم و پنجم، ضمن حفظ سطح بازده ناخالص فعلی، مقدار مصرف آب و کود شیمیایی نسبت به سطح فعلی کاهش و یا حداقل در سطح فعلی باقی مانده است.

**جدول ۳- رتبه‌بندی الگوهای بهینه با استفاده از رهیافت فازی (بهره‌برداران گروه اول)**

| محصول | الگوی فعلی | الگوی اول | الگوی دوم | الگوی سوم | الگوی چهارم | الگوی پنجم |
|---|---|---|---|---|---|---|
| گندم | ۱/۴ | ۱/۳ | ۱/۵ | ۱/۹ | ۱/۲ | ۱ |
| جو | ۱/۲ | ۱/۶ | ۱/۴ | ۱ | ۱/۷ | ۱/۹ |
| عدس | ۰/۲ | – | – | – | – | – |
| لوبیا | ۰/۱ | – | – | – | – | – |
| بازده ناخالص (میلیون ریال) | ۳۶/۲۱ | ۴۳/۵۲ | ۳۹/۹۸ | ۳۶/۲۱ | ۳۶/۲۱ | ۳۶/۲۱ |
| درصد تغییر | – | ۲۰/۲ | ۱۰/۴ | ۰ | ۰ | ۰ |
| مصرف آب (مترمکعب) | ۱۵۳۷۴/۵ | ۱۳۹۹۶ | ۱۳۵۰۰ | ۱۳۳۱۰ | ۱۳۳۹۰ | ۱۳۴۳۰/۸ |
| درصد تغییر | – | -۸/۹ | -۱۲/۲ | -۱۳/۴ | -۱۲/۹ | -۱۲/۶ |
| مصرف کود شیمیایی (کیلوگرم) | ۵۵۰ | ۵۵۰ | ۵۴۰ | ۳۹۰ | ۵۵۰ | ۵۴۰ |
| درصد تغییر | – | ۰ | -۱/۸ | -۲۹ | ۰ | -۱/۸ |
| شاخص فازی | – | ۰/۵۸۳ | ۰/۵۶۵ | ۰/۵۵ | ۰/۵۴۴ | ۰/۵۳۱ |

مأخذ: یافته‌های پژوهش

از میان محصولات منتخب این گروه، عدس و لوبیا در هیچ‌کدام از الگوهای انتخابی دارای اولویت نیستند. سطح زیر کشت گندم در الگوهای دوم و سوم بیشتر از سایر الگوهاست.

این در حالی است که سطح زیر کشت جو در الگوهای چهارم و پنجم بیشتر از الگوهای دیگر است. به‌طور کلی، برای این گروه از بهره‌برداران، در صورتی که سطح فعلی آب در دسترس را متضمن استفاده پایدار از آن تلقی کنیم، مطلوب آن است که بهره‌برداران گندم و جو را در سطح فعلی خود حفظ کنند و سطح زیر کشت محصولات عدس و لوبیا را به نفع دو محصول گندم و جو کاهش دهند. البته همان‌گونه که سطح زیر کشت فعلی نیز نشان می‌دهد، در این گروه از بهره‌برداران، سهم زیادی از سطح زیر کشت به محصولات عدس و جو اختصاص ندارد.

**ب) الگوهای بهینه بهره‌برداران با سطح زیر کشت بالای سه هکتار (گروه دوم)**

الگوی فعلی بهره‌برداران گروه دوم به‌همراه الگوهای حداکثرکنندهٔ بازده ناخالص و حداقل‌کنندهٔ مصرف آب و کود شیمیایی در جدول ۴ آمده است. میانگین سطح زیر کشت محصولات در این گروه تقریباً چهار هکتار است.

**جدول ۴- مقایسه الگوی فعلی و بهینه برای بهره‌برداران گروه دوم بر حسب اهداف مورد نظر**

| محصول | الگوی فعلی | الگوی بهینه حداکثر بازدهی | الگوی بهینه حداقل مصرف آب | الگوی بهینه حداقل مصرف کود شیمیایی |
|---|---|---|---|---|
| گندم | ۱/۶ | ۲/۳ | ۱/۹ | ۱/۷ |
| جو | ۱ | ۱/۲ | ۱/۵ | ۱/۶ |
| عدس | ۰/۳ | – | – | – |
| نخود | ۰/۴ | – | ۰/۲ | ۰/۳ |
| کنجد | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۳ |
| لوبیا | ۰/۲ | – | – | – |
| یونجه | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۱ | ۰/۲ |
| بازده ناخالص (میلیون ریال) | ۶۲/۳۹ | ۹۱/۶ | ۶۲/۲ | ۶۲/۲ |
| درصد تغییر | – | ۴۷ | -۰/۳ | -۰/۳ |
| مصرف آب (مترمکعب) | ۱۹۸۶۳/۲ | ۱۸۹۶۲/۴ | ۱۶۸۹۲/۸ | ۱۶۹۳۴/۸ |
| درصد تغییر | – | -۴/۵ | -۱۴/۹ | -۱۴/۷ |
| مصرف کود شیمیایی (کیلوگرم) | ۸۵۰ | ۸۳۵ | ۷۴۶ | ۶۴۳ |
| درصد تغییر | – | -۱/۸ | -۱۲/۲ | -۲۴/۳ |

مأخذ: یافته‌های پژوهش

الگوی حداکثرکنندهٔ بازده ناخالص نشان می‌دهد که با تغییر الگوی کشت، می‌توان بازده ناخالص را در سطح فعلی به‌کارگیری نهاده‌ها افزایش داد. الگوی حداکثرکنندهٔ بازده ناخالص سایر اهداف را نسبت به سطح فعلی آنها کاهش می‌دهد. به‌طور مشخص، از کود شیمیایی و آب اندکی کمتر از سطح فعلی آنها استفاده می‌کند. از میان محصولات الگوی فعلی، در الگوی حداکثرکنندهٔ بازده ناخالص، محصولات لوبیا، نخود و عدس حضور ندارند. بارزترین تغییر در الگوی حداکثر بازدهی تغییر سطح زیر کشت عدس، نخود، لوبیا و کنجد به نفع محصولات گندم، جو و یونجه است. شایان ذکر است که سطح زیر کشت کنجد کاهش یافته است.

با توجه به نتایج جدول ۴، در الگوی حداقل مصرف آب، محصول نخود نیز به محصولات گندم، جو، کنجد و یونجه اضافه شده که از این حیث، با الگوی بهینه حداکثر بازدهی متفاوت است. در الگوی حداقل مصرف آب، حداکثر بازده ناخالص در سطح فعلی (۶۲/۲ میلیون ریال) باقی مانده است. سطح آب و کود شیمیایی مصرفی نیز در الگوی یادشده در مقایسه با الگوی فعلی کاهش نشان می‌دهد. مقادیر اهداف در الگوی حداقل مصرف کود شیمیایی نیز تقریباً مشابه الگوی حداقل مصرف آب است و حداکثر بازده ناخالص در سطح فعلی خود باقی مانده، در حالی که مقادیر مصرف آب و کود شیمیایی کمتر از الگوی فعلی برای بهره‌برداران گروه دوم است. مقایسه نوع محصولات در الگوهای سه‌گانهٔ مورد بررسی بیانگر آن است که تغییراتی در نوع الگوی کشت محصولات پدید آمده است؛ به دیگر سخن، تعداد محصولات واردشده در الگوی حداقل مصرف آب و کود شیمیایی بیشتر از الگوی حداکثر بازده ناخالص است. در الگوهای حداقل مصرف آب و کود شیمیایی، افزون بر محصولات گندم، جو، کنجد و یونجه، محصول نخود نیز به الگوها اضافه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، الگوی کشت تعیین‌شده در الگوی حداقل مصرف آب و کود شیمیایی با یکدیگر مشابه‌اند.

بر اساس یافته‌های تحقیق، الگوی حداقل‌کنندهٔ مصرف کود شیمیایی در مقایسه با سایر الگوها از نظر مصرف کود شیمیایی برجسته و ممتازتر به‌نظر می‌رسد. الگوی حداقل‌کنندهٔ مصرف آب نیز در مقایسه با سایر الگوها، از نظر مصرف آب، مطلوب‌تر است. همچنین، الگوی

حداکثرکنندهٔ بازده ناخالص، در مقایسه با دو الگوی دیگر، از نظر بازده ناخالص، از شرایطی مناسب‌تر و مطلوب‌تر برخوردار است. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که پرداختن به یک هدف در سایهٔ از دست دادن امکان بهبود در سایر اهداف حاصل خواهد شد و لازم است که بر اساس معیاری، بتوان ترکیبی از اهداف را انتخاب کرد. به‌طور کلی، نتایج مبین آن است که میان اهداف مختلف در الگوهای مورد بررسی یک رابطهٔ تبادل وجود دارد.

## الگوهای مختلف بهره‌برداران گروه دوم در سطوح مختلف مصرف کود شیمیایی

الگوهای مختلف مربوط به سطوح مختلف مصرف کود شیمیایی در گروه دوم بهره‌برداران در جدول ۵ آمده است. با توجه به نتایج تحقیق، میزان مصرف آب، به‌موازات افزایش میزان مصرف کود شیمیایی و البته در سطح فعلی، بازده ناخالص افزایش می‌یابد. بنابراین، در سطح فعلی بازده ناخالص، با افزایش میزان مصرف کود شیمیایی، میزان مصرف نهاده آب افزایش نشان می‌دهد. شایان ذکر است که افزایش سطح زیر کشت محصولات در الگوهای مختلف به‌همراه افزایش میزان کود مصرفی موجب افزایش میزان آب مصرفی شده است.

**جدول ۵- مقایسه الگوی کشت فعلی و بهینه بهره‌برداران گروه دوم در سطوح مختلف مصرف کود شیمیایی**

| محصول | الگوی فعلی | الگوی اول | الگوی دوم | الگوی سوم | الگوی چهارم | الگوی پنجم |
|---|---|---|---|---|---|---|
| گندم | ۱/۶ | ۱/۷ | ۱/۸ | ۱/۹ | ۲ | ۲/۱ |
| جو | ۱ | ۱/۶ | ۱/۶ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۱/۳ |
| عدس | ۰/۳ | – | – | – | – | – |
| نخود | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۲ |
| کنجد | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ |
| لوبیا | ۰/۲ | – | – | – | – | – |
| یونجه | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۴ |
| بازده ناخالص (میلیون ریال) | ۶۲/۳۹ | ۶۲/۳۹ | ۶۲/۳۹ | ۶۲/۳۹ | ۶۲/۳۹ | ۶۲/۳۹ |
| مصرف آب (مترمکعب) | ۱۹۸۶۳/۲ | ۱۶۹۳۴/۸ | ۱۷۶۳۰/۷ | ۱۸۰۹۴/۱ | ۱۹۱۴۳/۶ | ۱۹۸۶۳/۲ |
| درصد تغییر | – | -۱۴/۷ | -۱۱/۲ | -۸/۹ | -۳/۶ | ۰ |
| مصرف کود شیمیایی (کیلوگرم) | ۸۵۰ | ۶۴۳ | ۷۱۵ | ۷۶۳ | ۸۵۰ | ۸۵۰ |
| درصد تغییر | – | -۲۴/۳ | -۱۵/۹ | -۱۰/۲ | ۰ | ۰ |

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بر پایهٔ یافته‌های مطالعه، در سطح حداقل کود شیمیایی مصرفی (الگوی اول)، محصولات گندم، جو، نخود، کنجد و یونجه هستند. بر اساس نتایج جدول ۵، در سطوح مختلف مصرف کود شیمیایی، ترکیب محصولات تقریباً ثابت است و تغییر زیادی نشان نمی‌دهد. بر اساس یافته‌های پژوهش، می‌توان گفت که اهداف زیست‌محیطی الگوهای بهره‌برداران در گروه دوم در سطوح مختلف مصرف کود شیمیایی همانند الگوهای مربوط به هدف حداقل‌سازی مصرف آب، با اهداف بهره‌برداران (حداکثرسازی بازده ناخالص) در تضاد نیست.

## اولویت‌بندی الگوهای بهینه با استفاده از رهیافت فازی برای بهره‌برداران گروه دوم

جدول ۶ نشان‌دهندهٔ نتایج رتبه‌بندی الگوهای مختلف با استفاده از رهیافت فازی با توجه به اهداف افزایش بازده ناخالص، کاهش مصرف آب و کاهش مصرف کود شیمیایی است.

**جدول ۶- رتبه‌بندی الگوهای بهینه با استفاده از رهیافت فازی (بهره‌برداران گروه دوم)**

| محصول | الگوی فعلی | الگوی اول | الگوی دوم | الگوی سوم | الگوی چهارم | الگوی پنجم |
|---|---|---|---|---|---|---|
| گندم | ۱/۶ | ۲/۱ | ۲ | ۱/۸ | ۱/۶ | ۱/۶ |
| جو | ۱ | ۱/۱ | ۱/۳ | ۱/۴ | ۱/۵ | ۱/۸ |
| عدس | ۰/۳ | – | – | – | – | – |
| نخود | ۰/۴ | – | – | – | ۰/۳ | ۰/۲ |
| کنجد | ۰/۳ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۰/۲ |
| لوبیا | ۰/۲ | – | – | – | – | – |
| یونجه | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۳ |
| بازده ناخالص (میلیون ریال) | ۶۲/۳۹ | ۹۱/۶ | ۸۶/۴ | ۸۱/۸ | ۶۲/۳۹ | ۶۲/۳۹ |
| درصد تغییر | – | ۴۶/۸ | ۳۸/۵ | ۳۱/۱ | ۰ | ۰ |
| مصرف آب (مترمکعب) | ۱۹۸۶۳/۲ | ۱۸۹۶۲/۴ | ۱۷۶۳۲/۹ | ۱۶۳۲۲/۶ | ۱۸۸۳۰/۸ | ۱۸۰۹۴/۱ |
| درصد تغییر | – | -۴/۵ | -۱۱/۲ | -۱۷/۸ | -۵/۲ | -۸/۹ |
| مصرف کود شیمیایی (کیلوگرم) | ۸۵۰ | ۸۳۵ | ۷۸۹ | ۷۰۶ | ۸۱۲ | ۷۶۳ |
| درصد تغییر | – | -۱/۸ | -۷/۲ | -۱۶/۹ | -۴/۵ | -۱۰/۲ |
| شاخص فازی | – | ۰/۵۴۳ | ۰/۵۱۱ | ۰/۴۹۹ | ۰/۴۶۳ | ۰/۴۶۵ |

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، الگوی دارای رتبه اول با شاخص فازی ۰/۵۴۳ حداکثر بازده ناخالص را با مصرف کمتر نهاده‌های آب و کود شیمیایی ارائه می‌کند. سطح بازده ناخالص در الگوهای اول تا سوم روندی کاهشی داشته و در الگوهای چهارم و پنجم به سطحی معادل مقدار فعلی آن رسیده است. در الگوهای اول تا سوم، با کاهش سطح بازده ناخالص، میزان مصرف آب و همچنین، مصرف کود شیمیایی در مقایسه با مقادیر فعلی آنها کاهش نشان می‌دهد. در الگوهای چهارم و پنجم، سطح بازده ناخالص به مقدار فعلی آن رسیده است. این در حالی است که میزان مصرف نهاده‌های آب و کود شیمیایی نسبت به سطح فعلی کاهش یافته است.

از میان محصولات کشت‌شده توسط بهره‌برداران گروه دوم، محصولات عدس و لوبیا در هیچ‌کدام از الگوهای انتخابی دارای اولویت نیستند. سطح زیر کشت گندم در الگوی اول بیشتر از سایر الگوهاست. سطح زیر کشت جو نیز در الگوی پنجم بیشتر از الگوهای دیگر است. همچنین، محصول نخود در الگوهای چهارم و پنجم لحاظ شده است. ترکیب محصولات در الگوهای اول تا سوم با یکدیگر مشابه است.

در مجموع، می‌توان گفت که الگوهای دارای اولویت پایین‌تر ترجیحاً بازده ناخالص را در سطح فعلی آن حفظ می‌کنند و از سوی دیگر، مقادیر آب و کود شیمیایی مصرفی را به مقادیر بهینه آنها نزدیک می‌کنند. بدین ترتیب، در تمامی اهداف زیست‌محیطی، بهبود نسبت به شرایط فعلی مشاهده می‌شود.

در الگوهای دارای مقادیر فازی بالاتر، روندی متفاوت دیده می‌شود، بدین ترتیب که عمدتاً به هدف افزایش بازده ناخالص توجه بیشتری شده است، هر چند که در این الگوها نیز میزان مصرف نهاده‌های تولید کمتر از سطح بهینه و فعلی است. بنابراین، اگر سطح فعلی استفاده از نهاده‌های زیست‌محیطی دارای شرایط بحرانی نباشند، می‌توان از این الگوها استفاده کرد. البته همان‌گونه که مشاهده می‌شود، الگوهای چهارم و پنجم با حفظ سطح فعلی بازده ناخالص قادر است در دو هدف دیگر نسبت به شرایط فعلی آنها تغییر ایجاد کند. بر اساس نتایج، چنانچه هدف افزایش بازده ناخالص باشد، استفاده از الگوهای اول تا سوم را می‌توان مناسب دانست و

بنابراین، محصولات گندم، جو، کنجد و یونجه می‌توانند در الگوی کشت قرار گیرند. افزون بر این، برخی از الگوها قادرند از زمین کمتری نیز استفاده کنند و از این طریق، امکان استراحت و آیش نیز برای زمین فراهم خواهد شد.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف کلی پژوهش حاضر تدوین الگوی کشت محصولات زراعی مبتنی بر کاهش سطح به‌کارگیری کود شیمیایی در بخش پاریز شهرستان سیرجان واقع در استان کرمان است. نتایج الگوهای بهینه برای بهره‌برداران گروه اول نشان داد که تنها دو محصول گندم و جو در الگوهای بهینه انتخاب شده و دو محصول عدس و لوبیا در هیچ‌کدام از الگوها جای نگرفته‌اند. همچنین، در الگوی حداقل مصرف کود شیمیایی، علی‌رغم باقی ماندن بازده ناخالص تقریباً در سطح قبلی آن، سایر اهداف نیز حداقل در سطح فعلی آنها تأمین شده است. بر اساس نتایج مطالعه، الگوی بهینه برای بهره‌برداران گروه اول از تنوع محصولی کمتری نسبت به الگوی فعلی برخوردار است. مطابق نتایج رتبه‌بندی الگوها بر اساس رهیافت فازی، با توجه به اهداف افزایش بازده ناخالص، کاهش مصرف آب و کود شیمیایی برای بهره‌برداران گروه اول، الگوی برتر و دارای رتبه اول حداکثر بازده ناخالص را در سطح فعلی مصرف کود شیمیایی ارائه کرده، ضمن اینکه هدف کاهش میزان مصرف آب نیز نسبت به سطح فعلی آن کاهش یافته است. بر اساس نتایج اولویت‌بندی الگوها، محصولات عدس و لوبیا در هیچ‌کدام از الگوها دارای اولویت نیستند. سطح زیر کشت گندم در الگوهای دوم و سوم بیش از سایر الگوهاست. این در حالی است که سطح زیر کشت جو در الگوهای چهارم و پنجم بیش از الگوهای دیگر است.

بر اساس یافته‌های تحقیق، در بهره‌برداران گروه دوم، الگوی حداقل‌کنندهٔ مصرف کود شیمیایی در مقایسه با سایر الگوها از نظر مصرف کود شیمیایی برجسته و ممتازتر به‌نظر می‌رسد. مقایسه نوع محصولات در الگوهای سه‌گانهٔ حداقل‌کنندهٔ مصرف آب، حداقل‌کنندهٔ مصرف کود شیمیایی و حداکثرکنندهٔ بازده ناخالص بیانگر آن است که تعداد محصولات واردشده در

الگوی حداقل مصرف آب و کود شیمیایی بیشتر از الگوی حداکثر بازده ناخالص است. نتایج الگوهای مختلف به‌دست‌آمده در سطوح مختلف از بازده ناخالص برای بهره‌برداران گروه دوم نشان داد که مقادیر آب و کود شیمیایی مصرفی در گروه دوم بهره‌برداران به‌طور موازی و با نرخ مشابه بازده ناخالص افزایش یافته است. نتایج رتبه‌بندی الگوهای مختلف با استفاده از رهیافت فازی، با توجه به اهداف افزایش بازده ناخالص، کاهش مصرف آب و کود شیمیایی در گروه دوم بهره‌برداران نشان داد که الگوی مطلوب و دارای رتبه اول حداکثر بازده ناخالص را با مصرف کمتر نهاده‌های آب و کود شیمیایی ارائه می‌کند. الگوهای دارای اولویت پایین‌تر ترجیحاً بازده ناخالص را در سطح فعلی آن حفظ می‌کنند و از سوی دیگر، مقادیر آب و کود شیمیایی مصرفی را به مقادیر بهینه آنها نزدیک می‌کنند. در الگوهای دارای مقادیر فازی بالاتر، روندی متفاوت دیده می‌شود، بدین ترتیب که عمدتاً به هدف افزایش بازده ناخالص توجه بیشتری شده، هر چند که در این الگوها نیز میزان مصرف نهاده‌های تولید کمتر از سطح بهینه و فعلی است.

بر اساس نتایج تحقیق، در راستای تحقق توأمان اهداف بهره‌برداران و اهداف زیست‌محیطی (کاهش مصرف کود شیمیایی)، پیشنهادهایی به‌شرح زیر ارائه می‌شود:

- به‌منظور تغییر الگوی کشت با در نظرگرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و با توجه به نتایج پژوهش حاضر، شایسته است که برای بهره‌برداران دارای کمتر از سه هکتار زمین کشاورزی (گروه اول) در این منطقه، الگوهای بهینه بر کشت بیشتر گندم و جو متمرکز باشد؛ و
- با توجه به نتایج پژوهش، در الگوی مطلوب برای بهره‌برداران دارای بیشتر از سه هکتار زمین کشاورزی (گروه دوم)، حداکثر بازده ناخالص با مصرف کمتر نهاده‌های آب و کود شیمیایی حاصل می‌شود؛ بنابراین، در الگوی کشت این بهره‌برداران، محصولات گندم، جو، نخود، کنجد و یونجه مورد تأکید قرار می‌گیرد.

**منابع**


1. Almasri, M.N. and Kaluaracjchi, J. (2004). Implications of on-ground nitrogen loading and soil transformations on ground water quality management. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 40(1):165-186.
2. Amirnejad, H. and Bahmanpouri, S. (2013). Integration of environmental and economic objectives for agricultural uses in determining optimal cropping pattern, case study: Beiza Plain, Fars province. *Agricultural Economics Research*, 5(2): 117-131. (Persian)
3. Berenger, V. and Verdier-Chouchane, A. (2007). Multi-dimensional measures of well-being: standard of living quality of life across countries. *World Development*, 35(7): 1259-1276.
4. Cerioli, A. and Zani, S. (1990). A fuzzy approach to the measurement of poverty. In: C. Dagum and M. Zenga (Eds) Income and wealth distribution. inequality and poverty (pp. 272-284). Berlin: Springer-Verlag.
5. Erfanifar, S., Zibaei, M. and Kasraei, M. (2014). Application of multi-bjective fuzzy goal programming to optimize cropping pattern with emphasis on using conservation tillage methods. *Agricultural Economics and Development*, 28(2): 118-124. (Persian)
6. Esmaeili, A. (2004). Natural resources economics. Bandar Abbas: Hormozgan University. (Persian)
7. Francisco, S.R. and Mubarik, A. (2006). Resource allocation tradeoffs in Manila's peri-urban vegetable production systems: an application of multiple objective programming. *Agric. Sys.*, 87: 147-168.
8. Ghorbanian, E., Zibaei, M., Ghorbani, M. and Kohansal, M. (2013). Determining the optimal cropping pattern due to limited groundwater resources in Kavar Plain. *Agricultural Economics and Development*, 27(1): 1-7. (Persian)
9. Gupta, S., Fügenschuh, A. and Ali, I. (2018). A multi-criteria goal programming model to analyze the sustainable goals of India. *Sustainability*, 10: 6-19.
10. Ikudayisi, A., Adeyemo, J., Odiyo, J. and Enitan, A. (2018). Optimum irrigation water allocation and crop distribution using combined Pareto multi-objective differential evolution. *Journal of Cogent Engineering*, 5(1): 1-16.
11. Johnson, R.A. and Witchern, D.W. (2000). Applied multivariate statistical analysis. Translated by H.A. Niroomand. Ferdowsi University of Mashhad Publications, Mashhad. (Persian)
12. Joulaei, R., Mirkarimi, Sh., Hassanvand, M. and Shirani Bidabadi, F. (2016). Managing the optimal cultivation pattern of crops in Mazandaran province

using the ideal model. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 24(94): 71-94. (Persian)
13. Karimzadegan, H., Gilanpour, O. and Mirhosseini, S.A. (2006). Effect of subsidized chemical fertilizer on its non-optimal consumption in wheat production. *Agricultural Economics and Development*, 14(55): 121-134. (Persian)
14. Kouchaki, A. (1997). Sustainable agriculture, insight or method?. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 20: 52-73. (Persian)
15. Latinopoulos, D. and Mylopoulos, Y. (2005). Optimal allocation of land and water resources in irrigated agriculture by means of Goal Programming: application in Loudias River basin. *Global Nest Journal*, 7: 264-273.
16. Mardani Najafabadi, M., Ziaee, S., Nikouei, A. and Ahmadpour Borazjani, M. (2019). Mathematical programming model (MPM) for optimization of regional cropping patterns decisions: a case study. *Agricultural Systems*, 173: 218-232. (Persian)
17. Mirzaei, A., Layani, Gh., Azarm, H. and Jamshidi, S. (2018). Determination optimal crop pattern of Sirjan County's central part based on stability of water resources and environment. *Jornal of Agricultural Economics Research*, 9(36): 283-304. (Persian)
18. Raju, K.S. and Kumar, D.N. (1999). Multi-criterion decision making in irrigation planning. *Agricultural System*, 62: 117-129.
19. Rani Basumatary, U. and Mitra, D. Kr. (2020). A study on optimal land allocation through fuzzy multi-objective linear programming for agriculture production planning in Kokrajhar district, BTAD, Assam, India. *International Journal of Applied Engineering Research*, 15(1): 94-100.
20. Ren, Ch., Guo, P., Tan, Q. and 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.
21. Ten Berge, H.F.M.. Van Ittersum, M.K., Rossing, W.A.H., Van de Ven, G.W.J., Schans, J. and Van de Sanden, P.A.C.M. (2000). Farming options for The Netherlands explored by multi-objective modeling. *European Journal of Agronomy*, 13: 263-277.
22. Zamani, O., Ghaderzadeh, H. and Mortazavi, S. (2014). Cropping pattern system wih respect to sustainable agriculture and optimum use of energy: a case study of Saqez County of Kurdistan province. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(1): 31-43. (Persian)