

Sustainable Management of Crop Production in Order to Achieve Food Security

Page Number

77–92

S. Shirzadi Laskookalaye^{1*}, Kh. Abdi Rokni² and E. Bajan³

1, 2 and 3) Department of Agricultural Economics. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Sari. Iran.

*Corresponding author: s.shirzadi@sanru.ac.ir

Received date: 2024.09.16

Accepted date: 2025.01.19

Abstract

Selecting the optimal cropping pattern is one of the most critical factors in enhancing food security in agriculture. Optimal land allocation and determining suitable crops for each region are essential to prevent excessive input use and mitigate risks associated with resource shortages in food supply. The objective of the present study is to optimize the cropping pattern using a multi-objective model aimed at ensuring food security (both quantitative and qualitative security of crop production) in Babol County. The required data were collected from the Agricultural Jihad Organization of Mazandaran Province for the 2021-2022 agricultural year. The results of the optimal pattern based on the approach of agricultural sustainability and food security showed that farmers' profits increased by approximately 0.5% compared to the region's conventional pattern. Additionally, the production of crops, which was maximized as a goal for quantitative food security (crop production), increased by 3.8%. Furthermore, the use of chemical fertilizers, which was minimized as a goal for qualitative crop production security in the region, decreased by 1.9% compared to the current state of the region. The results indicating increased crop production and reduced chemical input usage suggest that the proposed cropping pattern can play an effective role in achieving at least one of the food security indicators—providing more and healthier food—by improving both the quantity and quality of crop production. Moreover, based on the results, expanding the cultivation of other crops (wheat, soybeans, and rapeseed) is recommended in Babol County, given their specific role in meeting the food needs of the community and reducing input consumption.

JEL Classification: Q01, Q18.

Key words: Optimal cropping pattern, Food security, Genetic algorithm and Multi-objective programming.

مدیریت پایدار تولید محصولات زراعی در راستای دستیابی به امنیت غذایی

شماره صفحات
۷۷-۹۲

سمیه شیرزادی لسکوکلایه^{۱*}، خدیجه عبدی رکنی^۲ و الهام باجان^۳

۱، ۲ و ۳) گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: s.shirzadi@sanru.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۶

چکیده

انتخاب الگوی بهینه کشت از اصلی‌ترین عوامل افزایش امنیت غذایی در کشاورزی محسوب می‌شود. تخصیص بهینه اراضی و تعیین محصولات مناسب کشت هر منطقه برای جلوگیری از مصرف بی‌رویه نهاده‌ها و کاهش مخاطرات ناشی از کمبود منابع تأمین غذا، ضروری به نظر می‌رسد. هدف مطالعه حاضر، بهینه‌یابی الگوی کشت در قالب مدل چند هدفه در راستای تأمین غذایی (امنیت از لحاظ کمی و کیفی تولید محصولات زراعی) در شهرستان بابل می‌باشد. داده‌های مورد نیاز از سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ جمع‌آوری شد. نتایج الگوی بهینه براساس رویکرد پایداری کشاورزی و تأمین امنیت غذایی نشان داد، سود کشاورزان حدود ۵/۰ درصد نسبت به الگوی رایج منطقه افزایش داشته است. همچنین میزان تولید محصولات، که حداکثرسازی آن به‌عنوان هدف امنیت کمی تولید مواد غذایی (محصولات زراعی) مطرح بود، ۸/۳ درصد افزایش یافته است. همچنین مصرف کود شیمیایی نیز که حداقل‌سازی آن به‌عنوان هدف امنیت کیفی تولید محصولات زراعی در منطقه لحاظ شده بود، به میزان ۹/۱ درصد نسبت به حالت فعلی منطقه کاهش یافته است. نتایج افزایش میزان تولید محصولات زراعی و کاهش میزان مصرف نهاده‌های شیمیایی، مؤید آن است که الگوی کشت پیشنهادی می‌تواند با بهبود کمی و کیفی تولید محصولات زراعی (غذا)، در راستای دستیابی به حداقل یکی از شاخص‌های امنیت غذایی که تأمین غذای بیش‌تر و سالم است، نقش مؤثری را ایفا نماید. همچنین بر طبق نتایج، توسعه کشت سایر محصولات (گندم، سویا و کلزا) به لحاظ نقش ویژه‌ی این محصول در تأمین غذای مورد نیاز جامعه و کاهش مصرف نهاده‌ها، در شهرستان بابل پیشنهاد می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: Q18, Q01.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت بهینه، امنیت غذایی، الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی چندهدفه.

مقدمه

با افزایش پیوسته جمعیت دنیا، نیاز به مواد غذایی روز به روز با سرعت شگرفی در حال افزایش می‌باشد. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در سه دهه اخیر، مصرف سالانه مواد غذایی در حدود ۲۰ درصد افزایش یافته است و بر اساس برآوردهای موجود تا سال ۲۰۲۵ باید مقدار تولید محصولات غذایی در کشورهای در حال توسعه ۷۰ درصد بیش‌تر از تولید فعلی آن‌ها باشد. اطمینان از در دسترس بودن مداوم و منظم منابع تولید غذا، برای امنیت غذایی بسیار مهم است (Ridaura et al., 2019). از لحاظ بین‌المللی نیز، امنیت غذایی به دلیل تأثیرات ناشی از تعاملات متقابل بین دولت‌ها، از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، افزایش امنیت غذایی هدف اصلی آژانس‌های توسعه، مانند آژانس توسعه بین‌المللی و برنامه جهانی غذا است. در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، بحران‌های اقتصادی منجر به افزایش شدید قیمت مواد غذایی شده است، در نتیجه خانوارهای کم درآمد بیش از ۸۰ درصد درآمد خود را صرف خرید مواد غذایی می‌کنند. بنابراین دستیابی به امنیت غذایی یک هدف اساسی در همه جوامع انسانی است (Stephens et al., 2019). بنا به تعریف ارائه شده توسط سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد فائو امنیت غذایی به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن همه مردم، در تمام زمان‌ها دسترسی اقتصادی و فیزیکی به مواد غذایی کافی و ایمن برای یک زندگی سالم و فعال را داشته باشند. بنابراین امنیت غذایی تابع چهار شرط تأمین غذای کافی، تداوم در تأمین غذا بدون نوسان، قابلیت دسترسی به غذا و نهایتاً سلامتی و کیفیت غذا می‌باشد (Salehnia et al., 2019). امنیت غذایی در یک کشور، وابسته به تدابیری است که از طریق آن بتوان اقشار آسیب‌پذیر را شناسایی و حمایت کرد و سلامت آنان و جامعه را تأمین نمود. نقطه مقابل امنیت غذایی، ناامنی غذایی است که نه تنها فقدان دسترسی به مواد غذایی مورد نیاز بدن است، بلکه کمیت و کیفیت غذا را نیز در نظر می‌گیرد. بر همین اساس، بخش کشاورزی با افزایش و بهبود کیفیت تولیدات غذایی، نقش مهم و تعیین کننده‌ای را در تحقق امنیت غذایی جوامع بر عهده دارد. در واقع، کشاورزی نقش غیرقابل انکاری در توسعه اقتصادی کشورها در سطح محلی و ملی ایفا نموده و در بیش‌تر کشورهای جهان، حمایت از آن به‌عنوان یک موضوع بسیار مهم امنیتی به‌شمار می‌رود (Constantinides et al., 2019). اگرچه در ۵۰ سال اخیر، تحولات مثبت زیادی در حوزه کشاورزی در سطح جهان و بویژه در کشورهای صنعتی به وقوع پیوسته است، اما بسیاری از کشورهای در حال توسعه هنوز قادر به تأمین امنیت غذایی خود نیستند (Khader et al., 2016). از مهم‌ترین راهکارهای موجود در این کشورها، برای برآورده کردن هدف امنیت غذایی، که تاکنون راه‌گشا بوده است می‌توان به افزایش سطح زیرکشت محصولات کشاورزی اشاره کرد. این در حالی است که محدودیت‌های ذاتی نسبتاً شدید اغلب اراضی که تاکنون زیر کشت نرفته‌اند موجب می‌شود این راهکار سهم بسیار کوچکی در افزایش تولید مواد غذایی در آینده داشته باشد. دیگر راه‌کار کلیدی برداشت مقادیر بالاتر محصولات از اراضی مستعد تولیدات کشاورزی از طریق افزایش تولید در واحد سطح (افزایش عملکرد محصول) است که عمدتاً از طریق به‌کارگیری بهینه‌سازی عملیات مختلف کشت و کار انجام می‌گیرد. به همین جهت، یکی از راه‌های دستیابی به امنیت غذایی در کشاورزی، بهینه‌سازی الگوی کشت می‌باشد

(Chatterjee *et al.*, 2016). الگوی کشت برنامه‌ای است که، با هدف تعیین یک نظام کشاورزی با 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 محیط‌زیست و تأمین امنیت غذایی تدوین می‌شود (Dashti *et al.*, 2023). طبق مطالعات انجام شده، با اجرای موفقیت‌آمیز الگوی کشت، علاوه بر مدیریت بهتر منابع پایه آب و خاک، می‌تواند منجر به کاهش ریسک تولید، افزایش قابلیت مقابله با بحران‌ها، ایجاد اشتغال، مدیریت بهتر ارائه خدمات به بهره‌برداران و فراهم شدن امکان گسترش صنایع مرتبط با تولیدات کشاورزی گردد. اهداف و سیاست‌های کلی نظام امنیت غذایی در بخش کشاورزی بدون تدوین الگوی بهینه کشت امکان‌پذیر نمی‌باشد. از اهداف مهمی که قانون‌گذار به دنبال آن می‌باشد، ارائه الگوی کشتی است که، باعث استفاده پایدار از منابع تولید پایه شود، از سوی دیگر نیز میزان خودکفایی و خوداتکایی به مواد غذایی افزایش یافته تا تهدیدات امنیت غذایی کاهش یابد (Najafabadi *et al.*, 2019). در زمینه بهینه‌سازی الگوی کشت و امنیت غذایی مطالعات فراوانی انجام گرفته است، به طور مثال، Toulabinejad *et al.* (2016) در مورد میزان سازگاری خانوارهای روستایی پلدختر با تغییرات اقلیمی و نقش آن بر امنیت غذایی به مطالعه پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیم بر کاهش سطح زیرکشت تأثیر گذاشته و مهم‌ترین نقش در ناامنی غذایی کشاورزان را داشته است. Doust (2016) با استفاده از الگوریتم ژنتیک با هدف حداکثرسازی سود حاصل از کشت محصولات مختلف زراعی، الگوی بهینه کشت را در دشت قزوین ارائه دادند. نتایج نشان داد در تمام شرایط آب و هوایی، سود حاصل از الگوی کشت زراعی ارائه شده، از الگوی کشت پیشین بیش‌تر بود و الگوی بهینه کشت جدید باعث کاهش میزان مصرف آب شد. Esmail Nezhad *et al.* (2017) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر امنیت غذایی پرداختند. این پژوهش بر روی ۲۹۰ خانوار روستایی در دهستان میغان نهبندان انجام شده که اطلاعات از طریق پرسشنامه‌هایی که مربوط به ویژگی‌های تغییر اقلیم و تأثیر آن بر امنیت غذایی منطقه دارد، به دست آمد. نتایج نشان داد که پیامدهای تغییر اقلیم (خشکسالی، ریزگرد و سیلاب) در این منطقه موجب نگرانی و ناامنی خانوارها شده به‌طوری که ۹٪ از خانوارهای مورد بررسی شدیداً دچار ناامنی غذایی بودند. Mardani *et al.* (2019) بررسی تأثیر مدیریت مصرف آب کشاورزی بر امنیت غذایی در نظام بهره‌برداری خانوادگی در شهرستان کرمانشاه پرداختند. روایی پرسشنامه به روش روایی محتوایی با بهره‌گیری از نظرات یک پنل متخصصان در زمینه موضوع مورد پژوهش توسط هیئت علمی گروه مدیریت و توسعه کشاورزی دانشگاه و پایایی آن با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ تأیید گردید. نتایج حاصل از تحلیل مسیر نشان داد که بهبود مدیریت مصرف آب کشاورزان علاوه بر افزایش تولید و بهره‌وری نهاده‌های تولید و ارتقای درآمد کشاورزان، موجب افزایش دسترسی کشاورزان به سبد غذایی متنوع و باکیفیت و در نهایت بهبود امنیت غذایی آن‌ها می‌گردد. Moazzezi *et al.* (2021) اثرات تغییرات اقلیمی دما و بارندگی بر رفاه جامعه و امنیت غذایی در دشت همدان را با یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی شامل متغیرهای اقتصادی، زراعی و هواشناسی تحت ۴ سناریو در افق ۲۰۷۰ مورد ارزیابی قراردادند. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش دما و کاهش بارندگی میزان عملکرد

محصولات صیفی و جالبی افزایش یافته و در مورد محصولات راهبردی عملکرد کاهشی بوده که می‌تواند تهدیدی بر امنیت غذایی در آینده باشد. نتایج مدل اقتصادی نشان داد که با کاهش دسترسی به آب، سطح زیرکشت و تولید محصولات آبی و راهبردی کاهش یافته که منجر به کاهش تولید و افزایش قیمت خواهد شد. به تبع آن میزان رفاه مصرف‌کنندگان و امنیت غذایی کاهش می‌یابد. Salehnia (2022) به بررسی آثار اقتصادی متغیرهای اقلیمی بر میزان تولید محصولات اساسی ایران با کمک داده‌های سری زمانی و مدل اقتصادسنجی خودرگرسیون با وقفه توزیعی (ARDL) پرداخت. نتایج نشان داد که محصولات برنج و جو و گندم و ذرت به ترتیب بیش‌ترین سرعت تعدیل در واکنش نسبت به هر متغیر اقلیمی را در بلندمدت دارند. سطح برداشت محصولات نیز از دیگر متغیرهای مثبت تأثیرگذار در تولید است.

Shahnazari & Sadeghi (2023) با هدف افزایش بهره‌وری آب کشاورزی، محصولات مهم و راهبردی در حوضه آبریز تجن استان مازندران اولویت‌بندی و بررسی نمودند. اولویت‌بندی معیارها با استفاده از بهینه‌سازی از طریق الگوریتم ژنتیک با تابع هدفی مبتنی بر توسعه پایدار انجام شد. بر اساس نتایج، در الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک، اگرچه هر یک از محصولات ترتیب معیارهای مختص به خود را دارند، اما تمامی اولویت‌ها دارای ترتیبی مشابه از نقطه نظر زیست‌محیطی و سپس اقتصادی هستند. با این اولویت‌بندی به‌طور متوسط معیارهای سطح زیر کشت، حجم آب مصرفی و میزان کود شیمیایی به ترتیب ۲۶ و ۳۴ درصد کاهش و معیارهای عملکرد محصول و سوددهی به ترتیب ۴۳ و ۶۱ درصد افزایش یافته است. این اولویت‌بندی علاوه بر تأمین معیارهای زیست‌محیطی و افزایش توسعه پایدار، به‌طور متوسط سبب افزایش بهره‌وری فیزیکی به میزان ۱۴۸ درصد، افزایش بهره‌وری زمین به میزان ۹۵ درصد و افزایش بهره‌وری اقتصادی به میزان ۱۳۰ درصد می‌شود. Amin *et al* (2023) به بهینه‌سازی چندهدفه با اهداف افزایش سود خالص اقتصادی و کاهش آب مصرفی با روش الگوریتم ژنتیک نامغلوب پرداختند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد برای حصول سود اقتصادی بیش‌تر با مدیریت مصرف آب تخصیصی بهینه استفاده از روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه نسبت به روش‌های تک‌هدفه عملکرد بهتری دارد. در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ با توجه به این که آب کم‌تری نسبت به سال‌های قبل تخصیص داده شده و سطح زیرکشت الگوی کشت بهینه به مقدار ناچیز از سطح زیرکشت سال هدف کمتر شد (۸۳/۸۵ هکتار) بالاترین سود خالص با اختلاف ۱۳۸ درصد افزایش سود به دست آمد، که این مسئله به دلیل میزان افزایش قیمت محصولات نسبت به هزینه‌ها می‌باشد که افزایش درآمد بیش از افزایش هزینه‌ها بود. از مطالعات خارجی می‌توان به مطالعه Cremades *et al* (2016) اشاره کرد که در آن به بررسی تأثیر فناوری نوین آبیاری بر امنیت غذایی پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از فناوری‌های بهبود مصرف آب نه تنها موجب کاهش مصرف آب می‌شود بلکه منجر افزایش تولید و بهبود امنیت غذایی کشاورزان می‌شود. Geng *et al* (2019) در پژوهشی تحت عنوان بهبود بهره‌وری آب کشاورزی، برای تضمین امنیت غذایی در حوضه رود شیانگ در شمال غربی چین دریافتند که مدیریت آب از طریق روش‌های نوین آبیاری می‌تواند منجر

به بهبود کیفیت میوه‌ها و سبزیجات و سود بالاتر برای کشاورزان شود. علاوه بر این، آن‌ها عوامل اصلی در افزایش بهره‌وری آب را آبیاری، اصلاح بذر، تنظیم الگوی کشت (کاهش سطح زیرکشت محصولات آب بر) و کاربرد تکنولوژی‌های نوین آبیاری می‌دانند. Yamagachi *et al* (2019) در پژوهشی به ارزیابی تأثیر فناوری‌های کاهش مصرف آب بر کل رفاه اقتصادی و امنیت غذایی با حفظ تعادل آب پرداختند. نتایج نشان داد استفاده از فناوری‌های کاهش مصرف آب در مزارع می‌تواند از طریق کاهش هزینه‌های پمپاژ آب باعث کاهش هزینه‌های آبیاری شود که این امر موجب افزایش درآمد و بهبود امنیت غذایی کشاورزان می‌شود. (2021) Ani *et al* اثر تغییرات اقلیم مانند تغییر الگوی بارندگی و افزایش دما بر امنیت غذایی در نیجریه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تغییر اقلیم تأثیر منفی بر بهره‌وری آب و امنیت غذایی داشته است. برای کاهش این اثر منفی پیشنهاد می‌شود به استفاده از گونه‌های گیاهی مقاوم به تغییرات آب و هوایی، بهبود مدیریت منابع آب و شارژ مجدد منابع آبی توجه نمود. Nath *et al* (2022) با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی الگوی کشت در هندوستان پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد با وجود افزایش سود خالص و بازده با افزایش عرضه آب، اما افزایش حاصل اختلاف زیادی با شرایط موجود نداشت. بنابراین با کم آبیاری می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی کرد و از آب صرفه‌جویی شده برای اهداف مولدتر دیگر استفاده کرد. Gauri Pande & Umamahesh (2022) یک برنامه کشت بهینه با هدف حداکثر کردن سود و کاهش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی به وسیله بهینه‌سازی چندهدفه ارائه دادند. نتایج نشان داد بین استفاده از آب زیرزمینی و سود رابطه مستقیم وجود دارد. سطوح بهینه با استفاده از آب زیرزمینی منجر به سطوح بیش‌تری از سود خالص شد و الگوریتم ژنتیک سه هدفه از نظر تولید جبهه جواب‌های بهینه از الگوریتم ژنتیک تک هدفه عملکرد بهتری داشت. بررسی پیشینه پژوهش نشان داد که تاکنون مطالعات گوناگونی با به‌کارگیری روش‌های مختلف، امنیت غذایی را محاسبه نمودند. از آن‌جا که امنیت غذایی در هر منطقه، تا حدودی به ماهیت منطقه مورد مطالعه بستگی دارد، محققین مختلف تلاش نموده‌اند تا با توجه به ماهیت منطقه مورد مطالعه، امنیت غذایی مورد ارزیابی قرار داده‌اند. با توجه به اهمیت موضوع امنیت غذایی، هدف اصلی در این مطالعه در راستای سایر مطالعات، بهینه‌سازی الگوی کشت با تأکید بر مقوله‌ی امنیت غذایی محصولات زراعی در شهرستان بابل می‌باشد. به همین جهت در مطالعه حاضر الگوی کشت محصولات با تأکید بر امنیت غذایی (از جهت تولید حداکثری محصولات و تأمین کیفیت محصولات تولید شده) در شهرستان بابل تعیین خواهد شد. شهرستان بابل یکی از شهرستان‌های استان مازندران می‌باشد که به لحاظ تولید محصولات زراعی (غلات و دانه‌های روغنی) با ۵۹۳۵۱ هکتار سهم بالایی در سطح کشت و تولید داراست. محصولات عمده‌ی زراعی این منطقه شامل ارقام شلتوک طارم و شیرودی، گندم، سویا و کلزا می‌باشد. لازم به توضیح است که درحال حاضر در منطقه مورد مطالعه، بیش از ۸۳ درصد سطح کشت غالب اراضی محدوده‌ی مطالعاتی، محصول شلتوک می‌باشد. سایر محصولات زراعی (گندم، سویا و کلزا) نسبت به شالیکاری، درصد سطح زیرکشت پایینی دارند. شهرستان بابل دارای سطح زیرکشت حدود ۵۹۰۱۹ هکتار شلتوک می‌باشد، که به‌صورت نشاکاری و تحت آبیاری غرقابی کشت می‌شود. از ۵۹ هزار و ۰۱۹ هکتار سطح شالیزاری این

شهرستان، ۵۲ هزار و ۵۱۹ به ارقام محلی و ۶ هزار و ۵۰۰ هکتار به ارقام پرمحصول اختصاص دارد. شهرستان بابل، از لحاظ سطح کشت برنج در کشور پس از رشت، مقام دوم را دارد اما از لحاظ میزان تولید برنج، بابل رتبه نخست کشور را دارد (Agricultural organization of county babol, 2022). بررسی میدانی اولیه از طریق مصاحبه با کارشناسان جهاد کشاورزی و پرسشگری از کشاورزان منطقه نشان می‌دهد، با توجه به سود بالای کشت شلتوک، کشت این محصول نسبت به چندسال گذشته، ۱۰ درصد افزایش یافته و کشت سایر محصولات زراعی به جهت تأکید بر افزایش کشت شلتوک توسط کشاورزان، مورد بی‌توجهی قرار گرفته است. در صورتی که سایر محصولات زراعی این منطقه (شامل گندم، کلزا و سویا) نیز علاوه بر شلتوک دارای مزایایی مهم همچون اهمیت در دستیابی به امنیت غذایی، صرفه‌جویی در مصرف آب با تولید محصولاتی همچون گندم، شرایط تولید مناسب برای محصول کلزا و سویا در منطقه و همچنین خرید تضمینی این محصولات می‌باشد که می‌تواند در تعیین الگوی کشت بهینه در راستای تأمین امنیت غذایی مورد بررسی قرار گیرند. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه جزو مناطق مستعد کشور در تولید این محصولات می‌باشد، توسعه سطح کشت و بهبود عملکرد این محصولات می‌تواند به‌عنوان راهکاری تعیین‌کننده در نظر گرفته شده است (Agricultural organization of county babol, 2022). سطح بالای کشت شلتوک در منطقه و شیوه تولید سنتی آن در استفاده از نهاده‌هایی همچون آب و نهاده‌های شیمیایی جهت افزایش تولید و عملکرد این محصول، منجر به استفاده‌ی غیربهینه از نهاده‌های مذکور گردیده است و امنیت کیفی این محصولات مخصوصاً شلتوک‌های تولیدی را با مشکلاتی مواجه ساخته است که ممکن است مغایر با نقش مهم این منطقه در تأمین غذای سالم باشد. لذا تعیین الگوی کشت و مقدار بهینه مصرف نهاده‌های شیمیایی جهت تأمین هدف کیفی غذای تولیدی، علاوه بر هدف افزایش تولید و افزایش کمی محصول در منطقه مورد مطالعه، لازم و ضروری می‌باشد.

روش تحقیق

در مطالعه حاضر با توجه به ضرورت بیان شده با هدف مدیریت مصرف نهاده‌های شیمیایی و بررسی امنیت غذایی (بررسی امنیت از لحاظ کمی و کیفی تولید محصولات زراعی) در شهرستان بابل، در قالب تعیین الگوی بهینه کشت از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه استفاده شد. توابع هدف مطالعه در راستای تولید محصولات در قالب سه هدف حداکثرسازی سود، حداکثرسازی تولید محصولات (بهبود کمی تولید محصولات) و حداقل‌سازی مصرف کودشیمیایی (بهبود کیفی تولید محصولات) می‌باشد. در این مطالعه از روش الگوریتم ژنتیک برای دستیابی به هدف مذکور استفاده شده است. این الگوریتم جزئی از محاسبات تکامل است که خود جزئی از هوش مصنوعی می‌باشد این روش که جزء جدیدترین روش‌های برنامه‌ریزی است، با بهره‌گیری از نظریه تکامل و بقاء صلح در علم زیست‌شناسی و استفاده از اصول علم ژنتیک به‌عنوان روشی مؤثر برای بهینه‌سازی که محدودیت‌های روش‌های کلاسیک را ندارد ابداع شده است. الگوریتم ژنتیک، از تئوری‌های تکامل بیولوژیکی، از

قبیل وراثت ژنتیک و اصل تناظر بقای داروین بهره می‌برد و روش‌های جستجوی کاملاً موازی را برای مسائل پیچیده بهینه‌سازی ارائه می‌نماید (Barzegari, 2015).

$$\max\{(\pi), (TP), (-TF)\} \quad \text{رابطه ۱:}$$

رابطه ۱ بیان کننده حداکثرسازی سود اقتصادی (π) ، حداکثرسازی تولید (TP) و حداقل‌سازی مصرف کود $(-TF)$ می‌باشد. برای انجام این کار ابتدا بایستی متغیرهای تصمیم سیستم تعیین شود. هر ژن این الگوریتم، نمایانگر متغیر تصمیم سیستم هستند. متغیرهای تصمیم که ژن‌های مطالعه محسوب می‌شوند به ترتیب متغیر مربوط به سود اقتصادی، متغیر مربوط به مقدار تولید، متغیر مربوط به مقدار مصرف کود و متغیر مربوط به مقدار زمین تخصیص داده شده می‌باشند، که مجموع این ژن‌ها کروموزوم را تشکیل می‌دهد. تعداد کل ژن‌های هر کروموزوم از طریق ضرب تعداد ژن‌های مسئله در تعداد مزارع تحت پوشش به دست خواهد آمد. هر کروموزوم نماینده یک جواب برای مسأله است. فرم ریاضی هدف اول مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه یعنی هدف حداکثرسازی سود کشاورزان در رابطه ۲، نشان داده شده است. در این رابطه، r نوع محصول، YC_r عملکرد محصول، PC_r قیمت محصول، TA_r سطح زیرکشت هر محصول، CA_r کل هزینه‌های زراعت محصول r ام می‌باشد (Geng et al., 2019).

$$\max \pi = \sum_{r=1}^R YC_r PC_r TA_r - \sum_{r=1}^R CA_r TA_r \quad \text{رابطه ۲:}$$

در رابطه ۳ هدف حداکثرسازی تولید و بازدهی زمین زراعی جهت دریافت بیش‌ترین مقدار ممکن محصولات ارائه شده است (Zaffaroni & Bevacqua, 2022). این تابع، دستیابی به امنیت غذایی (از جهت کمی تولید محصولات) را به‌عنوان یکی دیگر از اهداف مطالعه حاضر نشان می‌دهد.

$$\max TP = \sum_{r=1}^R YC_r TA_r \quad \text{رابطه ۳:}$$

TP در رابطه ۳، نشان‌دهنده‌ی میزان کل تولید می‌باشد. سومین هدف مدل برنامه‌ریزی چندهدفه، در رابطه ۴ ارائه شده است که بیان‌کننده دستیابی به امنیت کیفی تولید محصولات به لحاظ صرفه‌جویی در مصرف کود شیمیایی در تولید محصولات منتخب است. از آن جایی که تأمین غذای سالم، یکی از شروط امنیت غذایی می‌باشد، رابطه ۴ با هدف حداقل‌سازی کود شیمیایی، امنیت کیفی تولید محصولات (غذا)، را نشان می‌دهد (Keyser et al., 2023).

$$\min TF = \sum_{r=1}^R FR_r TA_r \quad \text{رابطه ۴:}$$

در رابطه ۴، TF کل نهاده کود شیمیایی، FR_r مقدار کود شیمیایی استفاده شده برای محصول r ام می‌باشد. اهداف ارائه شده در روابط ۲ تا ۴ مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه، مشروط به محدودیت‌هایی تأمین می‌شوند، که این محدودیت‌ها شامل محدودیت آب، سرمایه و زمین هستند که در روابط ۵ تا ۷ نشان داده شده است (Geng et al., 2019).

$$\sum_{r=1}^R WA_r \cdot TA_r \leq Wa_{TOT} \quad \text{رابطه ۵:}$$

$$\sum_{r=1}^R CA_r \cdot TA_r \leq Ca_{TOT} \quad \text{رابطه ۶:}$$

$$\sum_{r=1}^R TA_r \leq A_{TOT} \quad \text{رابطه ۷:}$$

بعد از مشخص شدن متغیرهای تصمیم، تابع هدف و قیدها مراحل زیر برای تعیین الگوی بهینه در قالب الگوریتم ژنتیک، در منطقه مورد مطالعه اجرا خواهد شد. مرحله اول: تعیین نهاده‌ها، مقادیر در دسترس کشاورزان و دیگر اطلاعات مورد نیاز مرحله دوم: در اولین گام بعد از تعریف تابع هدف و تعیین پارامترها یا ورودی‌های مسأله، به‌وسیله تابع مولد تصادفی ماتریس جمعیت اولیه از متغیرهای تصمیم رابطه ۷ تشکیل می‌شود. تعداد جمعیت اولیه ۸۰۰ در نظر گرفته شده است.

$$\max\{\pi, (TP), (-TF)\} \quad \text{رابطه ۷:}$$

مرحله سوم: الگوریتم، متغیر مربوط به سود اقتصادی، متغیر مربوط به مقدار تولید، متغیر مربوط به مقدار مصرف کود و متغیر مربوط به مقدار زمین تخصیص داده شده را برای اولین کروموزوم ماتریس Iipop محاسبه می‌کند.

$$\begin{array}{cccccccc} b_1 & & b_2 & & b_3 & & \dots & & b_{n-1} & & b_n \end{array}$$

شکل ۱: نمایش یک کروموزوم n تایی

مرحله چهارم: در این مرحله تابع برازندگی برای هر یک از کروموزوم‌های جمعیت اولیه محاسبه می‌گردد. براساس مقدار ماکزیمم تابع π ، ماکزیمم تابع TP و مینیمم TF ، به‌ترتیب پس از مرتب کردن کروموزوم‌ها، نیمی از آن براساس قانون انتخاب طبیعی حذف و جمعیت اصلی تشکیل می‌شود. به عنوان مثال در تابع ماکزیمم سود اقتصادی از بیش‌تر به کم‌تر مرتب، ولی در تابع مینیمم TF و مصرف کود از کم‌تر به بیش‌تر مرتب خواهد شد. مرحله پنجم: در این مرحله کروموزوم‌های پدر و مادر انتخاب می‌شوند و به ازای هر جفت آن‌ها دو فرزند در مرحله ترکیب به وجود می‌آید. این کروموزوم‌های فرزند به کروموزوم‌های پدر و مادر اضافه می‌گردند تا جمعیت هر نسل ثابت بماند. عمل ادغام کروموزوم‌ها موجب نقض برخی از شرایط مسئله می‌گردد. بنابراین در چنین مواردی باید با استفاده از عملگر جهش نقص بوجود آمده را برطرف نماییم. مرحله ششم: نرخ جهش در بازه $[0/01, 0/2]$ قرار دارد که باید مقدار بهینه آن تعیین گردد. جهش روی جمعیت جدید اعمال می‌شود که برخی از کروموزوم‌های آن دچار جهش می‌شوند. مرحله هفتم: تست همگرایی روی جمعیت انجام می‌گیرد که شرط آن همگرایی توأم

کمیت‌های میانگین مقدار تابع هدف و بهترین مقدار توابع $(-TF)$, TP , π است. در صورت عدم همگرایی دوباره نیمی از جمعیت حاضر (مربوط به تکرار قبل) حذف شده و الگوریتم گفته شده در بالا تا رسیدن به همگرایی تکرار می‌شود. بعد از همگرایی الگوریتم و رسیدن آن به نقطه بهینه، مقدار عددی پارامترهای بهینه به دست می‌آید. جامعه آماری موردنظر در این مطالعه، زارعین شهرستان بابل می‌باشند. داده‌های مربوط به بخش زراعی پژوهش حاضر از جمله مقدار سرمایه، زمین، آب، و... از طریق آمارنامه و اطلاعات آماری وزارت جهاد کشاورزی برای شهرستان بابل، در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به صورت خام جمع‌آوری شد. همچنین جهت برآورد نتایج مدل چندهدفه، از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به هدف مطالعه، مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه برای تعیین الگوی کشت بهینه شهرستان بابل در قالب اهداف حداکثرسازی سود و تأمین امنیت غذایی تخمین زده شد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات منتخب با استفاده از الگوریتم ژنتیک با تکرار ۵۳ ام در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، از میان محصولات مورد مطالعه، شلتوک رقم طارم، بیش‌ترین سهم را در الگوی کشت جاری به خود اختصاص داده است. همچنین شلتوک رقم شیرودی، رتبه بعدی در کشت محصولات منطقه را دارد. گندم به دلیل سازگاری گسترده کشت با شرایط مختلف آب و هوایی، سهولت کشت، امکان نگهداری طولانی مدت، خرید تضمینی توسط دولت از جایگاه ویژه‌ای نزد کشاورزان برخوردار است، به همین جهت رتبه بعدی در کشت محصولات را به خود اختصاص داده است. سپس کلزا با ۱۱۸ هکتار و بعد از آن، سویا با ۱۵ هکتار رتبه بعدی را به خود اختصاص داده است، که با توجه به همزمانی کشت شلتوک و سویا، معمولاً کشاورزان برای مناطقی که دسترسی به آب کم‌تری دارند این محصول را در اولویت کشت خود قرار می‌دهند. همچنین در جدول ۱ نتایج تخمین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی منطقه مورد مطالعه نیز در ستون سوم جدول، ارائه شده است. از آنجایی که در مطالعه حاضر تعیین الگوی کشت بهینه با تأکید بر بهبود امنیت غذایی از جهت تولید و کیفیت و همچنین هدف افزایش سود کشاورزان مورد بررسی و توجه بوده است، لذا الگوی بهینه، کاهش سطح کشت ارقام شلتوک و افزایش سطح کشت محصولات گندم، سویا و کلزا را نتیجه داد. همان‌طور که مشاهده شد، بخش عمده‌ی زمین‌های تحت کشت، به شلتوک رقم طارم و شیرودی اختصاص یافت. با این شرایط که سطح کشت ارقام شیرودی و طارم نسبت به سطح کشت فعلی منطقه، به ترتیب حدود ۳ درصد و ۱/۷ درصد کاهش داشت. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در راستای تأمین اهداف تحقیق، کاهش سطح کشت شیرودی بیش‌تر از سطح کشت طارم در نتایج حاصل شد، چرا که، شلتوک شیرودی جزء ارقام پرمحصول می‌باشد که به نهاده‌ی شیمیایی بیش‌تر نیز در طول دوره رشد خود نیاز دارد، بنابراین وقتی مدل برنامه‌ریزی، هدف حداقل‌سازی مصرف نهاده‌های شیمیایی را نیز علاوه بر سایر اهداف مدنظر داشته باشد، طبیعی است که سطح کشت شیرودی بیش‌تر از سطح کشت رقم طارم کاهش یابد. همچنین نتایج الگوی بهینه با وجود اینکه ارقام شلتوک، مصرف نهاده بالاتری نسبت به محصولات

گندم، سویا و کلزا دارند. اختصاص سطح کشت بیش تری را به محصولات گندم، سویا و کلزا نسبت به وضعیت فعلی منطقه نتیجه داد. به طوری که بالاترین درصد تغییر در سطح کشت این محصولات به ترتیب شامل سویا با ۸۶۰ درصد افزایش در سطح کشت، گندم با ۵۶۰ درصد افزایش و سپس کلزا با ۲۳۰ درصد افزایش در سطح کشت نسبت به سطح کشت فعلی آن‌ها را نتیجه داد. اما با این وجود، همچنان مقدار سطح کشت شلتوک ارقام طارم و شیروودی نسبت به سایر محصولات (گندم، سویا و کلزا) چشمگیر است. این نتیجه را می‌توان این گونه توجیه نمود که کشاورزان منطقه چندسالی است که به دلیل بالا بودن نسبی سود این ارقام نسبت به سایر محصولات، این محصول را به عنوان ارقام غالب در الگوی کشت خود منظور نمودند، لذا مسلماً کشاورزان اگر بخواهند در راستای کاهش مصرف نهاده‌ها قدمی بردارند، در درجه‌ی اول به درآمد گذشته‌ی خود می‌نگرند و رقمی را انتخاب می‌کنند که منافی همانند گذشته حاصل کند. لذا، باقی ماندن این محصولات در الگوی کشت حتی با وجود تأکید بر کاهش مصرف کود شیمیایی، منطقی به نظر می‌رسد. البته با توجه به لحاظ هدف تأمین کیفی تولید محصولات (حداقل سازی مصرف کود شیمیایی) علاوه بر سایر اهداف حداکثرسازی سود و افزایش تولید محصولات زراعی نیز، الگوی بهینه، افزایش سطح کشت محصولات گندم، سویا و کلزا را نیز پیشنهاد داده است. در ادامه در جدول شماره ۲ مقایسه اهداف در شرایط بهینه و فعلی نشان داده شده است.

جدول ۱: الگوی بهینه کشت

Table1: Optimal crop pattern

درصد تغییرات Percentage of changes	الگوی کشت بهینه Optimal cultivation pattern	الگوی کشت فعلی منطقه Current cultivation pattern of the region	محصولات/ سطح کشت (هکتار) Crops/ Cultivated area (hectares)
-۱/۷	۵۱۵۸۲	۵۲۵۱۹	شلتوک طارم taram rice
-۳	۶۳۰۱	۶۵۰۰	شلتوک شیروودی Shirodi rice
+۵۶۵	۸۴۶	۱۲۷	گندم wheat
+۲۳۸	۴۰۰	۱۱۸	کلزا canola
+۸۶۹	۱۴۹	۱۵	سویا soybeans

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۲: اهداف در الگوی فعلی و الگوی بهینه

Table2: Objectives in the current pattern and the optimal pattern

درصد تغییرات Percentage of changes	الگوی کشت بهینه Optimal cultivation pattern	الگوی کشت فعلی منطقه Current cultivation pattern of the region	اهداف Objectives
+۰/۴۹	۲۴۸۸۴/۵۲	۲۴۷۷۴/۹۹	سود ناخالص (میلیارد ریال) (Gross profit (riyals)
+۳/۸	۲۵۹/۳۸۳	۲۴۹/۹۷۳	تولید (هزار تن) (kg) production
-۱/۹	۲۹/۷۵۶	۳۰/۳۳۵	مصرف کود شیمیایی (هزار تن) (kg) Chemical fertilizer consumption

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج الگوی بهینه در جدول شماره ۲ نشان می‌دهد، براساس رویکرد پایداری کشاورزی و تأمین امنیت کمی و کیفی تولید، افزایش سود در منطقه مورد مطالعه امکان پذیر خواهد بود. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود در وضعیت بهینه هدف

حداکثرسازی سود ناخالص بیان می‌کند که سود زارعین منطقه به‌ازای هر هکتار، از ۲۴۷۷۴/۹۹ میلیارد ریال به ۲۴۸۸۴/۵۲ میلیارد ریال و در حدود ۰/۵ درصد نسبت به وضعیت فعلی، افزایش می‌یابد. یعنی در شرایط فعلی، زارعین بدون توجه به تأمین امنیت غذایی، محصولات را کشت می‌کنند و نهاده‌های شیمیایی را مورد استفاده قرار می‌دهند، که این مورد سبب کاهش سود آن‌ها می‌گردد. لازم به توضیح است که کاهش اندک (۱/۷ و ۳ درصدی) ارقام شلتوک در مقابل افزایش بالای (حدود ۵۶۰ درصدی) سطح کشت گندم، با توجه به عملکرد بالای این محصول و همچنین قیمت آن در سال جاری، منجر به افزایشی در حدود ۰/۵ درصد سود (تقریباً دستیابی به سود فعلی کشاورزان) شده است و این نتیجه را توجیه می‌کند. طبق نتایج به دست آمده و ارائه شده در جدول ۲، اگر کشاورزان منطقه از توصیه‌های ارائه شده در حالت بهینه‌سازی پیروی کنند، علاوه بر افزایش سود، میزان تولید نیز از ۲۴۹/۹۷۳ هزارتن به ۲۵۹/۳۸۳ هزارتن یعنی حدود ۳/۸ درصد نسبت به سطح تولید فعلی افزایش خواهد داشت، در عین حال اینکه این وضعیت مطلوب و افزایش تولید و سود را با صرفه‌جویی و مصرف کم‌تر نهاده‌های شیمیایی و تولید غذای سالم به دست خواهد آورد. از این‌رو، می‌توان اذعان نمود که الگوی کشت بهینه تخمین زده شده می‌تواند در بهبود وضعیت تولید منطقه نقش مثبتی ایفا نماید. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، که با بهینه‌سازی الگوی کشت می‌توان میزان مصرف منابع کشاورزی و نهاده‌های شیمیایی مصرفی را که استفاده غیر اصولی آن‌ها آثار نامناسبی را بر کیفیت محصول و محیط زیست به جای می‌گذارد را مدیریت نمود، در الگوی بهینه، کشت گیاهان با مصرف آب کم‌تر (مثل گندم، سویا و کلزا)، جایگزین کشت محصول‌هایی با مصرف آب بالا (همچون ارقام شلتوک) شده‌اند. افزون بر آن، افزایش تولید محصولات گندم، سویا و کلزا در الگوی بهینه با برنامه ششم توسعه مبنی بر طرح‌های افزایش تولید این محصولات مطابقت دارد. همچنین نتایج الگوی کشت بهینه نشان داد، که میزان مصرف کود شیمیایی از ۳۰/۳۳۵ هزارتن به ۲۹/۷۵۶ هزارتن کاهش یافته است. درحقیقت با حدود ۱/۹ درصد صرفه‌جویی در مصرف کود شیمیایی، بهبود کیفیت در تولید محصولات نسبت به شرایط فعلی حاصل خواهد شد. بنابراین می‌توان گفت که با کاهش سطح کشت ارقام شلتوک (با توجه به سنتی بودن شیوه تولید شلتوک و مصرف بالای نهاده‌های تولید از جمله نهاده‌های شیمیایی) و سوق دادن سطح کشت به سمت محصولات سویا، گندم و کلزا، از میزان مصرف نهاده‌های شیمیایی کاسته و در نتیجه می‌توان منطقه را از شرایط بحرانی مصرف نهاده‌های شیمیایی خارج و به سمت مصرف بهینه این نهاده قدم برداشت. بنابراین، تغییر الگوی کشت به سمت محصولاتی، که نهاده شیمیایی کم‌تری مصرف می‌کنند، باعث بهبود امنیت غذایی شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، انتخاب الگوی پیشنهادی از نظر اقتصادی و شرایط امنیت غذایی و پایداری کشاورزی، دارای منفعت و در راستای پایداری تولید خواهد بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اطمینان از در دسترس بودن مداوم و منظم منابع تولید غذا برای امنیت غذایی بسیار مهم است. امنیت غذایی زمانی به دست می‌آید که همه مردم همواره به غذای کافی، سالم و مغذی دسترسی فیزیکی و اقتصادی داشته باشند و این غذا نیازهای

فرد برای یک زندگی سالم و فعال را فراهم سازد. با توجه به اهمیت موضوع، هدف این مطالعه تعیین الگوی کشت بهینه در قلب الگوی چندهدفه و در راستای امنیت تأمین غذایی و پایداری کشاورزی بود. نتایج مطالعه نشان داد، الگوی پیشنهادی نسبت به الگوی فعلی منطقه دستیابی مناسب‌تری به اهداف را نشان می‌دهد. همچنین مدل بهینه، پیشنهاد داد که محصولات کم مصرف‌تر در نهاده، سطح زیرکشت بیش‌تری نسبت به وضعیت فعلی، به خود اختصاص دهند، با این وجود، سود به میزان ۰/۴۹ درصد افزایش می‌یابد. نتایج این بخش از مطالعه با مطالعه Jafari *et al* (2023) مبنی بر افزایش ۲۴ درصدی سود، مطابقت دارد. چنانچه الگو و ترکیب زراعی مطابق با شرایط فوق، در منطقه مورد مطالعه سامان یابد، ضمن افزایش رشد اقتصادی در بخش کشاورزی، از نهاده‌ی کود و سموم شیمیایی، با کم‌ترین آثار تخریبی کیفی غذایی و پایداری کشاورزی، به‌طور بهینه استفاده خواهد شد. در حالت بهینه، که با احتیاط بیش‌تری، الگوی کشت با توجه به اهداف مطالعه انتخاب می‌شود، تولید نسبت به حالت فعلی ۳/۸ درصد افزایش می‌یابد. نتیجه این بخش با ماده برنامه ششم توسعه کشور، مبنی بر طراحی و اجرای الگوی کشت با تأکید بر افزایش تولید محصولات در چهارچوب سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی مطابقت دارد. این بخش مطالعه با نتایج مطالعه Shahnazari & Sadeghi (2023) مبنی بر افزایش ۴۳ درصدی عملکرد، همسو می‌باشد. همچنین بخش آخر نتایج نشان داد با تغییر الگوی کشت، امنیت کیفی تولید محصولات به میزان ۱/۹ درصد افزایش داشته که این نتیجه با مطالعه Cremades *et al* (2016) مبنی بر افزایش امنیت غذایی بر اثر کاهش مصرف کود شیمیایی مطابقت دارد. به عبارتی دیگر می‌توان بیان نمود، که نتایج مدل برنامه‌ریزی چندهدفه، الگوی کشتی را نتیجه داد، که با مصرف نهاده‌های شیمیایی کم‌تر، می‌توان به تولید و سود بیش‌تری برای کشاورزان دست یافت. با اینکه مقدار افزایش سود زیاد نیست و تقریباً در سطح سود فعلی است. اما هدف کاهش مصرف کود و افزایش تولید که از لحاظ سیاست‌گذاران بسیار با اهمیت است، کاهش و افزایش بیش‌تری را داشته است. کشاورز با توجه به ماهیت ریسک‌گریزی که دارد، زمانی که به سود قبلی خود برسد حاضر به پذیرش الگوی پیشنهادی خواهد شد، در اینصورت، کشاورز حداقل به سود قبلی خود دست خواهد یافت و همزمان مصرف کود شیمیایی که برای آن‌ها بسیار بااهمیت می‌باشد و به لحاظ سنتی معمولاً زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد، کاهش یافته است. بنابراین همان‌گونه که نتایج مطالعه حاضر نشان داد، اگر کشاورزان بر طبق الگوی کشت فعلی منطقه، به کاشت محصولات خود ادامه دهند، نه تنها از به دست آوردن سود بیش‌تر باز می‌مانند بلکه با عدم توجه به تأمین امنیت کیفی محصولات و کشاورزی منطقه و توجه صرف به تولید و سودآوری، در راستای امنیت غذایی محصولات، تولید نخواهند داشت. لذا براساس اهداف مطالعه‌ی حاضر و نتایج حاصله در شهرستان بابل، توصیه می‌شود، سطح کشت کم‌تری به محصولات با مصرف بالای نهاده‌های شیمیایی اختصاص داده شود و یا همچون الگوی پیشنهادی، مدیریت مناسبی در میزان مصرف این نهاده‌ها لحاظ گردد. چرا که طبق نتایج به دست آمده، با کاهش حدود ۲ درصد در مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌توان تقریباً به همان میزان سود کشاورز (حدود ۰/۵ درصد افزایش) دست یافت. این نتیجه آثار مثبت امنیت کیفی محصولات و کشاورزی

منطقه را به همراه خواهد داشت. چرا که اجرای این نتیجه، از یک سو باعث کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی شده و از سویی دیگر متضمن منافع اقتصادی مناسب برای کشاورزان خواهد بود.

منابع

Agricultural organization of county babol. (2022).

Ani, K., Anyika, V. and Mutambara, E. (2021). The impact of climate change on food and human security in Nigeria. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 14(2): 148-167.

Amin, S., Hesam, M., Jabary, A., & Abdolhosseyni, M. (2023). Multi-objective optimization of cultivation patterns with emphasis on economic benefits and ensuring food supply chain security (A case study: Gonbad-e Kavus – Golestan Dam). *Journal of Water and Soil Conservation*, 30(2): 119-139. (In Persian)

Barzegari, M., & Ghazal soffo, A. (2015). Optimization of Urban Water Distribution Network Using Genetic Algorithm (Case Study: Salami City). *National Conference on Civil Engineering and Needs Research*. 1-11. (In Persian)

Chatterjee, R., Atta ur, R., Tran, T., & Shaw, R. (2016). Urban Food Security in Asia: A Growing Threat, *Urban Disasters and Resilience in Asia*. Butterworth-Heinemann, pp. 161-178.

Constantinides, S. V., Turner, C., Frongillo, E. A., Bhandari, S., Reyes, L. I., & Blake, C. E. (2021). Using a global food environment framework to understand relationships with food choice in diverse low-and middle-income countries. *Global Food Security*, 29, 100511.

Cremades, R., Rothausen, S., Conway, D., Zou, X., Wang, J., & Li, Y. (2016). Co-benefits and trade-offs in the water–energy nexus of irrigation modernization in China. *Environmental Research Letters*. 11(5). DOI 10.1088/1748-9326/11/5/054007

Doust, Y. (2016). Optimizing the cultivation pattern and agricultural water allocation of Qazvin plain using cuckoo algorithm and genetics. (In Persian)

Dashti, G., Mousavi Asbagh, M., Hossein Zad J., & Ghasemi, E. (2023). Determination of Optimum Cropping Pattern of Major Crops in Marand Plain with Emphasis on Sustainable Use of Water Resources. *Agricultural Economics and Development*, 31(1), 163-184. (In Persian)

Esmail Nejad, Morteza., Akbarpour, M., Mechaniki, J., & Fal Suleiman, M. (2017). Assessing the consequences of climate change on food security and rural livelihoods: Case study: Rural farmers in Meighan Nehbandan district. *Journal Geography*. 16(57): 5-18. (in Persian)

Gauri Pande, N., & Umamahesh, V. (2022). Optimal Cropping Pattern and Water Allocation Using Ga under Deficit Irrigation Conditions. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1873146/v1>.

Geng, Nb., Zhengb, Yi., Hanb, Feng. & Huapeng, Q. (2019). The nexus of water, ecosystems and agriculture in arid areas: A multiobjective optimization study on system efficiencies. *Agricultural Water Management* 223.

Jafari, A.M., Nikouei, A., Ghadami Firouzabadi, A., Shanazi, K., & Bakhtyari, M.R. (2023). Impact of crop pattern modification policies on water resources protection and selfsufficiency of wheat (Case study: Kabudrahang plain). *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 3(1), 170-183.

Keyser, E., Dobbelaere, A., Leenknecht, J., Meers, E., Mathijs, E., & Vranken, L. (2023). An optimization model minimizing costs of fertilizer application in Flemish horticulture. *International Journal of Agricultural Sustainability* .21: 2184572.

Khader, B.F.Y., Y.A. Yigezu, M.A. Duwayri, A.A. Niane, & K. Shideed. (2020). Where in the value chain are we losing the most food? The case of wheat in Jordan. *Food Security*, Doi: 10.1007/s12571-019-00962-7.

- Lopez-Ridaura, S., Barba-Escoto, L., Reyna, C., Hellin, J., Gerard, B., & van Wijk, M. (2019).** Food security and agriculture in the Western Highlands of Guatemala. *Food Security*, 11(4), 817-833.
- Moazzezi, F., Mosavi, S. H., Yavari, Gh., & Bagheri, M. (2021).** Assessing the Impact of Climate Change on Food Security and Economic Welfare: Case Study Hamedan-Bahar Plain. *Agricultural Economics and Development*. 29(2): 249-292. (in Persian)
- Mardani, M., Shabanali, H., & Asadi, A. (2019).** The effect of agricultural water consumption management on the food security of farmers' households in the family exploitation system: the case study of Kermanshah city. *Journal of Agricultural Extension and Education Research*. 12(4):51-64. (in Persian)
- Nath, K., Jain, R., Arora, A., Shekhar Roy, H., & Marwaha, S. (2022).** Multiobjective optimal crop plan for optimum groundwater utilization considering profit maximization: A case study. *Research Square*. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1194487/v1>
- Najafabadi M. M., Ziaee S., Nikouei A., & Borazjani, M. A. (2019).** Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems*, 173, 218-32.
- Salehnia, M. (2022).** Economic Impacts of Climate Change on Selected Strategic Crops in Iran. *Agricultural Economics and Development*.3(30): 175-205. (in Persian)
- Shahnazari, A., & Sadeghi, S. (2023).** Optimization of cropping pattern criteria based on sustainable development and increasing agricultural water productivity in the Tajan basin. *Quarterly Journal of Soil and Water Sciences*, 27(2): 163-177. (In Persian)
- Stephens, E. C., Jones, A. D., & Parsons, D. (2018).** Agricultural systems research and global food security in the 21st century: An overview and roadmap for future opportunities. *Agricultural Systems*, 163, 1-6.
- Toulabinejad, M., Toulabinejad, M., & Tabatabaei, A. (2016).** Farmers adapt to climate change and its impact on food security of rural households Poldokhtar Township. *The Journal of Natural Environmental Hazards*. 6(13):67-90. (in Persian)
- Zaffaroni, M., & Bevacqua, D. (2022).** Maximize crop production and environmental sustainability: Insights from an ecophysiological model of plant-pest interactions and multi-criteria decision analysis. *European Journal of Agronomy*. Vol 139: 126571.
- Yamaguchi, T., Tuan, L. M., Minamikawa, K., & Yokoyama, S. (2019).** Assessment of the relationship between adoption of a knowledge-intensive watersaving technique and irrigation conditions in the Mekong Delta of Vietnam. *Agricultural water management*. 212: 162-171.