نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۲ شماره ۳ / سال ۱۴۰۱/ صفحات ۲۵۰-۲۳۵

Determining Aligned Optimal Pattern with Sustainable Production of Rice Cultivars in Gaharbaran Region of Sari: Application of Genetic Algorithm Model

Somayeh Shirzadi Laskookalayeh[1*], Khadijeh Abdi Rokni[2]

Received: 10 August 2021 Accepted: 17 January 2022
1- Assist. Prof., Faculty of Agricultural Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University Sari, Iran.
2- PhD Student of Agricultural Economics, Agricultural Sciences and Natural Resources University Sari, Iran.
[*]Corresponding Author Email: s.shirzadi@sanru.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The aim of the present study is the application of the genetic algorithm model for optimizing the cropping pattern in form of a multi-objective model in the normal and dry climates of Goharbaran area in Sari. In this regard, at first, the optimal products composition, maximum economic water productivity, minimum water consumption, minimum consumption of chemical fertilizers from different rice cultivars have been determined. At second, results were compared with the current conditions in the region.

Materials and Methods: In this study, the method of genetic algorithm with respect to the conditions of different aquatic years has been used to achieve this goal. A multi-objective planning model has been used to achieve integrated economic and environmental management. The data of the present study were collected through the Jihad Agricultural Organization and Mazandaran Regional Water Company in the 2019-2020 crop year. Matlab software has also been used to estimate the results

Results: The results show that the suggested pattern of the genetic algorithm in these climate conditions superior to the current model of the region and shows more appropriate achievement of study objectives. The optimal pattern in normal climate conditions will be improved in economic goal, ecological goal, and environmental goal by 16%, 3.5%, and17.5%, respectively. Also, in dry climate, the economic goal increases by 17%, the ecological goal decreases by 22% and the environmental goal decreases by 20% compared with the current cultivation pattern of the region.

Conclusion: As regards to the use of the suggested cropping pattern of the genetic algorithm leads to better achievement of farmers' goals rather than the current model, so encouraging and supporting the government for farmers to use the results of such models can improve the productivity agricultural lands and Sustainable agriculture.

Keywords: Genetic Algorithm, Goharbaran, Rice, Sustainable Agriculture, Water Management

تعیین الگوی بهینه همسو با تولید پایدار ارقام برنج در منطقه گهرباران ساری: کاربرد مدل الگوریتم ژنتیک

سمیه شیرزادی لسکوکلایه[1*]، خدیجه عبدی رکنی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷

۱- استادیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
*مسئول مکاتبه: Email: s.shirzadi@sanru.ac.ir

چکیده

اهداف: هدف مطالعه حاضر، بهینه‌یابی الگوی کشت در قالب مدل چندهدفه در شرایط آب وهوایی نرمال و خشک، در منطقه گهرباران شهرستان ساری با استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در این راستا، ترکیب بهینه محصولات، حداکثر بهره‌وری اقتصادی آب، حداقل مصرف آب، حداقل آلایندگی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی حاصل از کشت ارقام مختلف برنج تعیین و با شرایط فعلی منطقه مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه از روش الگوریتم ژنتیک با لحاظ شرایط، سه سال آبی مختلف برای دستیابی به هدف مذکور استفاده شده است. جهت دستیابی به مدیریت توام اقتصادی و زیست‌محیطی از الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه استفاده می‌شود. داده‌های مطالعه حاضر از سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای مازندران در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ جمع‌آوری شد. همچنین جهت بهینه‌سازی از نرم‌افزار matlab استفاده شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد الگوی پیشنهادی الگوریتم ژنتیک در هر دو حالت آب و هوایی نسبت به الگوی فعلی منطقه دارای برتری است و دستیابی مناسب‌تر اهداف مطالعه را نشان می‌دهد. طبق الگوی بهینه در وضعیت نرمال آب و هوایی، هدف اقتصادی ۱۶ درصد، هدف اکولوژیکی ۳/۵ درصد و هدف زیست‌محیطی ۱۷/۵ درصد بهبود خواهد یافت. همچنین در وضعیت آب وهوایی خشک هدف اقتصادی ۱۷ درصد افزایش، هدف اکولوژیکی ۲۲ درصد کاهش و هدف زیست‌محیطی ۲۰ درصد کاهش را نسبت به الگوی کشت فعلی منطقه نشان می‌دهد. در هر دو حالت آب و هوایی پیشنهاد می‌شود رقم طارم هاشمی بیشترین میزان سطح زیرکشت را به خود اختصاص دهد. نتیجه مذکور با توجه به میزان کم مصرف آب و کود شیمیایی این رقم، منطقی به‌نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری: با توجه به اینکه استفاده از الگوی کشت پیشنهادی الگوریتم ژنتیک موجب دستیابی بهتر به اهداف بهره‌برداران نسبت به الگوی فعلی می‌شود، لذا تشویق و حمایت دولت از کشاورزان در زمینه به‌کارگیری نتایج چنین الگوهایی می‌تواند موجب ارتقاء بهره‌وری اراضی زراعی و کشاورزی پایدار شود.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، برنج، کشاورزی پایدار، گهرباران، مدیریت آب

مقدمه

آب و بحران آب یکی از بزرگترین چالش‌های قرن حاضر بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود. خاورمیانه از جمله مناطقی است که به شدت با مشکل محدودیت منابع آب شیرین روبرو می‌باشد، به‌طوری که بسیاری از صاحب‌نظران پیش-بینی می‌کنند که در آینده درگیری‌های فراوانی بر سر بدست آوردن منابع آب شیرین منطقه صورت خواهد گرفت (چیذری و قاسمی ۱۹۹۹). کشاورزی به عنوان یکی از محورهای اساسی توسعه اقتصادی است. کشاورزان در تصمیم‌گیری برای کشت محصولات زراعی به هدف‌های مختلفی چون حداکثر کردن درآمد خالص، حداقل کردن هزینه، استفاده حداکثر از نیروی-کار خانوادگی، حداقل کردن مصرف آب و دستیابی به سطوح مشخصی از درآمد برای تأمین حداقل نیاز ضروری خانواده خویش توجه می‌کنند. در حال حاضر قسمت اعظم مصرف آب کشور به بخش کشاورزی اختصاص دارد (عباسی و قدمی ۲۰۰۶).

به‌رغم سرمایه‌گذاری‌های قابل توجه انجام شده در بخش آب، به دلایلی همچون بالا رفتن هزینه استخراج هر مترمکعب آب از منابع آبی جدید، برداشت بی‌رویه از منابع آب موجود، عدم توجه به بازگشت مناسب سفره‌های آب سطحی و زیرزمینی، رعایت نشدن اصول مربوط به نگهداری و محافظت از منابع آب و خاک کشور، رشد بخش صنعت و توسعه شهرنشینی و سرانجام بروز پدیده خشکسالی در سال-های اخیر، آلودگی و نابودی تعداد زیادی از منابع آبی کشور را در پی خواهد داشت. لذا به نظر می‌رسد که کمبود منابع آب، علاوه بر کند کردن روند توسعه کشاورزی، باعث خساراتی در آینده نیز خواهد شد (باقریان و همکاران ۲۰۰۷). با توجه به مطالب گفته شده در خصوص اهمیت مدیریت آب، تدوین الگوی کشتی که در کنار کاهش مصرف آب و کاهش آلودگی آب، درآمد مشخصی را برای کشاورزان تأمین نمایید، از ضرورت بالایی برخوردار می‌باشد. از آن‌جایی که هدف اصلی علم اقتصاد، تخصیص منابع کمیاب بین فعالیت‌های رقیب است، لذا استفاده از روش‌هایی که بتواند اهداف مذکور را تحقق بخشد، ضروری می‌باشد (رضایی و همکاران ۲۰۱۲). یکی از روش‌هایی که در زمینه تخصیص بهینه منابع کمیاب مورد توجه است، استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی می‌باشد. الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی از دهه‌های گذشته و به-ویژه در عصر حاضر برای نیل به اهدافی از قبیل سیاست‌گذاری در بخش کشاورزی، تعیین الگوی بهینه کشت و ترکیب نهاده‌های کشاورزی و بررسی الگوهای گوناگون کشت کاربرد فراوانی دارند (باقریان و همکاران ۲۰۰۷).

بهینه‌سازی در مفهوم کلی، به معنای رسیدن به هدف مطلوب براساس محدودیت‌ها و قیدهای درنظر گرفته شده برای آن است. الگوریتم ژنتیک[1] یکی از روش‌های جدید بهینه‌یابی است که بیشتر برای مسائل پیچیده و غیرخطی به کار می‌رود. در این مطالعه از روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌یابی 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 (برزگری ۲۰۱۵).

در زمینه بهینه‌سازی مصرف آب و الگوریتم ژنتیک مطالعات فراوانی انجام گرفته است و با توجه به تعدد و شباهتی که بین اغلب مطالعات وجود دارد، به چند

[1] Genetic Algorithm

مطالعه‌ای که در سال‌های اخیر انجام گرفته اشاره می‌شود.

حسین‌زاد و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی کسری، الگوی بهینه کشت محصولات زراعی را با تاکید بر برخی اهداف مهم کشاورزی پایدارمورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که مدل مذکور مصرف آب در ماه‌های مختلف برای منطقه را به گونه‌ای تنظیم خواهد نمود که کمبودی برای این منبع در هر ماه وجود نداشته باشد. و مصرف مواد شیمیایی زیان‌آور از جمله کودها و سموم شیمیایی نیز در حداقل خود خواهد بود. یوسف دوست و همکاران (۲۰۱۶) با هدف بهینه‌سازی سطح زیرکشت، به تخصیص آب آبیاری حاصل از کشت در شرایط آب و هوایی مختلف با کمک الگوریتم ژنتیک پرداختند. نتایج بیان گر این بود که در شرایط آب و هوایی نرمال، مرطوب، خشک وگرم و خشک سود حاصل از الگوی کشت جدید ارائه شده توسط مدل نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش چشمگیری داشته و پیروی از الگوی بهینه تا حد زیادی باعث کاهش مصرف آب می‌شود. میرزایی و همکاران (۲۰۱۷) با هدف حداکثرسازی میزان سود خالص کشاورزان با استفاده از الگوریتم ژنتیک به تعیین الگوی کشت بهینه در شبکه آبیاری سد گلستان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد الگوی کشت فعلی منطقه بهینه نبوده و در صورت استفاده از الگوی کشت پیشنهادی در این تحقیق میزان سود در کشت پاییزه و تابستانه میزان سود به ازای هر هکتار زمین به ترتیب ۴۷ و ۵۷ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش یافته است. شیرشاهی و همکارارن (۲۰۱۹) به منظور حداکثر نمودن سود و حداقل نمودن آلودگی منابع آب در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه، دو تابع هدف مجزا ارائه دادند. نتایج، نشان‌دهنده افزایش سود خالص به میزان ۶۴ درصد و کاهش ۲۰ درصد آب مصرفی در شرایط بهینه نسبت به الگوی کشت موجود می‌باشد. خوش نواز (۲۰۲۰) با استفاده از الگوریتم ژنتیک، آب تخصیص داده شده به محصولات الگوی کشت شبکه آبیاری دشت شوشتر، را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد کاربرد برنامه بهینه موجب کاهش سالانه ۷ میلیون مترمکعب در تخصیص آب و افزایش بیش از پنج میلیارد تومان در سود خالص کل الگوی دشت می‌گردد. در مطالعات خارجی نیز سیدیان و همکاران (۲۰۱۵) در مقاله‌ای، برای تخصیص مقدار آب به بین تعدادی از مزارع، روش الگوریتم ژنتیک (GA) را مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد استفاده از GA برای بهینه‌سازی تخصیص آب، راه حل‌های مناسب تولید شد که همزمان درآمد اقتصادی کل را در مزارع مورد مطالعه به حداکثر رسانده است. لوپز و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از الگوریتم ژنتیک در قالب تکنیک‌های کم آبیاری، سودآوری مزارع مورد مطالعه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد کشاورزان منطقه از آب بصورت بهینه استفاده نمی‌کنند. الگوریتم پیشنهادی ممکن است بخشی از منطقه قابل کشت را تحت شرایط کم آبیاری به عنوان آیش بدون کشت باقی گذارد. آیکودایسی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی خود به بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از الگوریتم تکاملی در آفریقای جنوبی پرداختند. نتایج نشان داد در الگوی کشت بهینه ارائه شده توسط الگوریتم تکاملی، بازده برنامه افزایش و مصرف آب حدود ۵۷/۲ درصد کاهش یافت. آداما و همکاران (۲۰۲۰) به منظور تخصیص بهینه آب برای به حداکثر رساندن بهره‌وری و افزایش تولید محصول از الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند. نتایج نشان داد الگوی کشت پیشنهادی دارای عملکرد نسبت به شرایط فعلی می‌باشد. همچنین میزان مصرف آب از ۵/۱ به ۴/۹۶ کاهش یافته است. همچنین راجو و کومار (۲۰۰۴)، سینگ و پندا (۲۰۱۲)، نیوری (۲۰۱۴)، قاسمی و همکاران (۲۰۱۶)، هاشمی و همکاران (۲۰۱۹) به منظور مدیریت پایدار منابع آب و توزیع بهینه آب در بخش کشاورزی برای حل مسئله فرموله شده، از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. نتایج مطالعات آنها نیز نشان داد که تقریبا کشاورزان از آب بصورت بهینه استفاده نمی‌کنند. همچنین نتایج آنها بیان‌کننده این مطلب است که الگوریتم ژنتیک می‌تواند به عنوان یک مدل بهینه‌سازی مؤثر برای برنامه‌ریزی هر سیستم آبیاری مورد استفاده قرار گیرد.

جمع‌بندی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که الگوی کشت پیشنهاد شده توسط مدل ژنتیک برتری داشته است. نکته دیگری که از تحقیقات انجام شده پیشین استنباط می‌گردد، این است که گرچه تاکنون مطالعات گوناگونی با به‌کارگیری روش‌های مختلف، الگوی کشت بهینه را محاسبه نمودند. اما می‌توان اشاره کرد که تحقیقات اندکی در خصوص بهینه‌سازی آب و تأثیر آن بر الگوی بهینه ارقام مختلف برنج در ایران با لحاظ اهداف اقتصادی و محیطزیستی انجام گرفته است به جز معدود مواردی که در بالا ذکر شده است. تاکید اکثر مطالعات صرفا بر هدف حداکثرسازی بهره‌وری اقتصادی آب یا مدیریت آب بوده و بحث پایداری کشاورزی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه با توجه به برداشت‌های مجاز و غیرمجاز از آب رودخانه تجن، شور بودن آب زیرزمینی به‌دلیل نزدیک بودن به دریا، کاهش ریزش جوی، توسعه غیراصولی کشاورزی در منطقه، نفوذ سموم کشاورزی به رودخانه و همچنین استراتژیک بودن محصول برنج، به تعیین الگوی بهینه بین ارقام مختلف برنج بر مبنای اهداف حداکثرسازی بهره‌وری اقتصادی آب، حداقل‌سازی مصرف آب و حداقل‌سازی آلودگی محیطزیستی ناشی از نفوذ کودهای نیتراته در آب، در منطقه گهرباران ساری پرداخته شده است. گهرباران شامل دهستان گهرباران شمالی به مرکزیت روستای طبقده با ۱۱ روستای تحت پوشش و دهستان گهرباران جنوبی به مرکزیت روستای ماکران با ۹ روستای تحت پوشش می‌باشد. عمده محصولات زراعی این منطقه شامل برنج، گندم، سویا، کلزا، حبوبات، سبزیجات، نباتات علوفه‌ای و محصولات جالیزی شامل هندوانه، خربزه، خیار و گوجه‌فرنگی می‌باشد. بیش از ۷۰ درصد کشت غالب اراضی محدوده مطالعاتی، برنج می‌باشد. سایر محصولات کشاورزی نسبت به شالیکاری درصد سطح زیرکشت پایینی دارند (کشیری و همکاران ۲۰۲۰). منطقه گهرباران از جمله مناطق برنج‌خیز استان می‌باشد، بطوریکه ۴۶۰۰ هکتار از اراضی منطقه به کشت برنج اختصاص دارد. این محصول جز محدود محصولات زراعی آبی منطقه گهرباران است و سایر محصولات زراعی عموما به‌صورت دیم کشت می‌شوند. از آنجایی که ارقام مختلف برنج در میزان مصرف و به کارگیری نهاده‌هایی از قبیل کود شیمیایی و آب با یکدیگر متفاوت هستند، بنابراین تعیین کشت ارقام مناسب می‌تواند علاوه بر لحاظ سودآوری مناسب کشاورزان، صرفه‌جویی در مصرف آب، توجه به مسائل محیطزیستی منطقه و مصرف مناسب کود شیمیایی کمک شایانی نماید. به لحاظ اهمیت تولید برنج و قابلیت منطقه در تولید آن، ضروری است که ارقام مناسب کشت این محصول به‌نحو مطلوب تعیین شوند.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه به دلایلی از قبیل اهمیت محصول برنج به عنوان دومین غله مهم خوراکی بعد از گندم در ایران، رتبه نخست استان مازندران در بین استان‌های کشور و همچنین نیاز قابل توجه این محصول به آب و کود شیمیایی، الگوی کشت بهینه ارقام مختلف برنج تعیین و مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ارقام موردنظر در این مطالعه شامل نوع مرغوب طارم هاشمی و سنگ طارم و برای نوع پرمحصول می‌توان به گونه شیرودی، فجر و ندا اشاره کرد. میزان آب مصرفی اراضی شالیزاری به ازای هر هکتار به طور میانگین در ارقام محلی هشت تا ۹ هزار مترمکعب است ولی در ارقام پر محصول تا ۱۲ هزار متر مکعب می‌باشد. همچنین برای ارقام مرغوب ۲۵۰-۳۰۰ کیلو کود در هر هکتار و برنج پرمحصول ۶۰۰-۷۰۰ کیلو در هر هکتار کود شیمیایی مصرف می‌شود.

با توجه به ضرورت بیان شده انجام مدیریت بهینه آب زراعی در منطقه گهرباران ساری و با هدف تعیین الگوی بهینه کشت ارقام مختلف برنج از مدل چندهدفه با در نظر گرفتن سه هدف حداکثرسازی بهره‌وری اقتصادی آب، حداقل‌سازی مصرف آب و کاهش آلودگی آب استفاده شده است که در ادامه به بیان آنها پرداخته می‌شود. در این مطالعه از روش الگوریتم ژنتیک با لحاظ شرایط سال‌های آبی مختلف برای دستیابی به هدف مذکور استفاده شده است. برای

انجام این کار ابتدا بایستی متغیرهای تصمیم سیستم تعیین شود. هر ژن این الگوریتم، نمایانگر متغیر تصمیم سیستم هستند (جنگ و همکاران ۲۰۱۹):

$$max\{APIW, (-EFAP), (-TNAP)\}$$ (رابطه ۱)

رابطه (۱) بیان کننده حداکثرسازی بهره‌وری اقتصادی آب $(APIW)$[۲]، حداقل‌سازی مصرف آب[۳]$(-EFAP)$ و حداکثر سازی کاهش مصرف کودنیتروژنه و به عبارتی دیگر کاهش آلودگی ناشی از نفوذ کود نیتراته در آب کشاورز[۴]$(-TNAP)$ می‌باشد. متغیرهای تصمیم که ژن‌های مطالعه محسوب می‌شوند به ترتیب متغیر مربوط به بهره‌وری اقتصادی ، متغیر مربوط به مقدار مصرف آب، متغیر مربوط به مقدار مصرف کود نیتروژنه 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 بدست خواهد آمد. هر کروموزوم نماینده یک جواب برای مساله است.

اولین هدف بیان می‌دارد که به ازای هر مترمکعب آب آبیاری چه میزان سود حاصل خواهد شد، که به صورت رابطه شماره (۲) نشان داده شده است. به عبارتی دیگر هدف مذکور، بهره‌وری اقتصادی سیستم را نشان می‌دهد. در رابطه (۲)، r نوع رقم برنج، YC_r عملکرد ارقارم برنج ، PC_r قیمت بازاری ارقام برنج ، TA_r سطح زیرکشت ارقام برنج، CA_r کل هزینه‌های زراعت ارقام برنج r ، CF هزینه کود نیتروژن، CM هزینه کود ترکیبی مورد استفاده، H_r مقدار کود نیتروژن استفاده شده برای هر رقم برنج، F_r مقدار کود ترکیبی استفاده شده در منطقه می‌باشد. IQ_r: نیاز خالص آبیاری برای هر رقم برنج می‌باشد (جنگ و همکاران،۲۰۱۹):

$$\max APIW = \frac{\sum_{r=1}^{R} YC_r PC_r TA_r - \sum_{r=1}^{R} CA_r TA_r - CF\sum_{r=1}^{R} H_r TA_r - CM\sum_{r=1}^{R} F_r TA_r}{\sum_{r=1}^{R} IQ_r TA_r}$$ (رابطه ۲)

دومین هدف در رابطه (۱)، میزان صرفه‌جویی در مصرف آب را در تولید ارقام برنج نشان می‌دهد. به عبارت دیگر بیان می‌کند به ازای هر واحد سود اضافی یا کاهش سود، چند مترمکعب کمتر مصرف خواهد شد. منابع آب گهرباران برای تولید برنج منابع آب سطحی و سد می‌باشد . D_r سهمیه آبیاری برای هر رقم برنج می‌باشد. لازم به توضیح است که سهمیه آبیاری یک نیاز ناخالص است که با تقسیم کردن نیاز خالص آبیاری بر بهره‌وری بدست می‌آید. منابع آب گهرباران برای تولید برنج منابع آب سطحی و سد می‌باشد.

$$\min EFAP = \frac{\sum_{r=1}^{R} D_r TA_r}{\sum_{r=1}^{R} YC_r PC_r TA_r - \sum_{r=1}^{R} CA_r TA_r - CF\sum_{r=1}^{R} H_r TA_r - CM\sum_{r=1}^{R} F_r TA_r}$$ (رابطه ۳)

سومین هدف در رابطه (۱) در واقع مدیریت کیفیت آب می‌باشد، که به صورت رابطه (۴) ارائه گردیده است. معمولا کل کودهای شیمیایی مصرفی توسط گیاهان یا محصولات کشاورزی به مصرف نمی‌رسد و بخشی از آن در خاک باقی می‌ماند که پس از انحلال، باعث آلودگی آب سفره‌های زیرزمینی و رودخانه‌ها می‌شود. کودهای شیمیایی معمولاً از ترکیبات ساده نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشند.

---

۲ Agricultural profit per unit of irrigation water

۳ Eecological flow per unit of agricultural profit

۴ Total nitrogen per unit of agricultural profit

مشخص شده است که ضریب روان شدن در آب برای نیتروژن معادل ۵ الی ۳۰ ٪است. از آن جایی که ضریب روان شدن نیتروژن در آب، نسبت به سایر ترکیبات شیمیایی، آلودگی بیشتری را در آب ایجاد خواهد کرد (اسدی و همکاران ۲۰۱۸). در این تحقیق صرفا آلودگی آب ناشی از روان شدن نیتروژن، در هدف سوم مورد بررسی قرار خواهد گرفت. MP_r ضریب سالانه انتشار آلاینده کل نیتروژن اطراف زمین‌های زراعی ارقام برنج در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

(رابطه ۴)
$$\min TNAP = \frac{\sum_{r=1}^{R} MP_r TA_r}{\sum_{r=1}^{R} YC_r PC_r TA_r - \sum_{r=1}^{R} CA_r TA_r - CF\sum_{r=1}^{R} H_r TA_r - CM\sum_{r=1}^{R} F_r TA_r}$$

مقدار ضریب انتشار از رابطه (۵) بدست خواهد آمد. fn_r مقدار کود نیتروژن و Tfn_r کودشیمیایی حاوی نیتروژن منطقه می‌باشد.

(رابطه ۵)
$$MP_r = fn_r.Tfn_r.1.57$$

اهداف ارائه شده در روابط بیان شده، مشروط به محدودیت‌های خاص خود تعیین خواهند شد. که این محدودیت‌ها عبارتند از (جنگ و همکاران ۲۰۱۹):

- محدودیت اول: دسترس بودن آب

با توجه به کاهش آب در اثر مصرف بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی این محدودیت اعمال شده است. که در آن SW: مقدار جریان آب بالادست رودخانه که به منطقه مورد مطالعه وارد می‌شود.

(رابطه ۶)
$$\sum_{r=1}^{R} D_r TA_r \le SW$$

- محدودیت دوم: نیروی کار

(رابطه ۷)
$$\sum_{r=1}^{R} MD_r TA_r \le \text{EMD}$$

در اینجا MD_r نیروی کار مورد نیاز در واحد سطح از کشت یک هکتار رقم rام و EMD تعداد تخمینی نیروی کار در اختیار کشاورزان (نفر روز کار) را نشان می‌دهند.

- محدودیت سوم: ماشین‌آلات کشاورزی

(رابطه ۸)
$$\sum_{r=1}^{R} MH_r TA_r \le \text{EMH}$$

MH_rنشان‌دهنده ساعت‌های ماشین‌آلات موردنیاز در یک هکتار سطح زیرکشت رقم r ام و EMH بیانگر کل ساعت‌های در دسترس ماشین‌آلات می‌باشند.

- محدودیت چهارم: سرمایه

(رابطه ۹)
$$\sum_{r=1}^{R} CAP_r TA_r \le \text{TCAP}$$

که در آن CAP_r سرمایه مورد نیاز برای هر هکتار از رقمr ام وTCAP برآوردی از کل سرمایه در اختیار کشاورز می‌باشد.

- محدودیت پنجم: در دسترس بودن زمین

(رابطه ۱۰)
$$\sum_{r=1}^{R} TA_r \le K_r$$

که در رابطه ۱۰، مقدار K_r بیانگر کل زمین‌های در دسترس کشاورز می‌باشد.

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، بوسیله تابع مولد تصادفی ماتریس جمعیت اولیه از متغیرهای تصمیم (رابطه ۱۱) تشکیل می‌شود. تعداد جمعیت اولیه ۸۰۰ درنظر گرفته شده است.

(رابطه ۱۱)
$$max\{APIW, (-EFAP), (-TNAP)\}$$

مرحله سوم: الگوریتم، متغیر مربوط به بهره‌وری اقتصادی، متغیر مربوط به مقدار مصرف آب، متغیر

مربوط به مقدار مصرف کود نیتروژنه و متغیر مربوط به مقدار زمین تخصیص داده شده را برای اولین کروموزوم ماتریس Iipop محاسبه می‌کند.

b_1	b_2	b_3	…	b_{n-1}	b_n

شکل۱-نمایش یک کروموزوم nتایی

مرحله چهارم: در این مرحله تابع برازندگی برای هر یک از کروموزوم‌های جمعیت اولیه محاسبه می‌گردد. براساس مقدار ماکزیمم تابع $APIW$، مینیمم تابع $EFAP$ و مینیمم $TNAP$، به ترتیب پس از مرتب کردن کروموزوم‌ها، نیمی از آن براساس قانون انتخاب طبیعی حذف و جمعیت اصلی تشکیل می‌شود. به عنوان مثال در تابع ماکزیمم $APIW$ بهره‌وری اقتصادی از بیشتر به کمتر مرتب، ولی در تابع مینیمم $EFAP$ و مصرف آب 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 بوجود می‌آید. این کروموزوم‌های فرزند به کروموزوم‌های پدر و مادر اضافه می‌گردند تا جمعیت هر نسل ثابت بماند. عمل ادغام کرموزوم‌ها 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 [۰/۲، ۰/۰۱] 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 $APIW, (-EFAP), (-TNAP)$، 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 بدست می‌آید.

در مطالعه حاضر، ترکیب بهینه کشت ارقام برنج در دو وضعیت آب و هوایی نرمال و خشک مورد بررسی قرار گرفته است. لذا جهت تعیین وضعیت سال آبی موردنظر چند سال اخیر از شاخص درصد نرمال[۵] (PNI) استفاده گردید. شاخص درصد نرمال بارندگی، یکی از ساده‌ترین شاخص‌های محاسبه تغییر سال آبی است. با توجه به نتایج مطالعات انجام شده در میان شاخص‌های شاخص بارندگی استاندارد شده[۶] (SPI)، درصد نرمال[۷] (PNI)، شاخص نمرهZ [۸](ZSI) و شاخص خشکسالی مؤثر [۹](EDI)، شاخص PNI خروجی نسبتا مناسبتر و بهتری نشان داده است (ادیب و گرجی‌زاده ۲۰۱۶). این شاخص از رابطه (۱۲) بدست می‌آید:

$$PN = \frac{P_i}{\overline{P}} * 100 \qquad \text{رابطه ۱۲}$$

که در آن P_i بارندگی سال i و $\overline{P}$ میانگین در سال‌های آماری می‌باشد. این شاخص همواره مثبت بوده و از سمت پایین محدود به صفر و قسمت بالا از نظر تئوری محدودیتی ندارد. طبقات مختلف این شاخص در جدول ۱ آمده است.

[۵]. Percent of Normal Index
[۶] Standardized Precipitation Index
[۷] Percent of Normal Index
[۸] Z-Score Index
[۹] Effective Drought Index

جدول۱- طبقه‌بندی به روش PNI

طبقات شدت خشکسالی	شاخص درصد نرمال(PNI)
ترسالی	بیشتر از ۱۲۰٪
نرمال آب و هوایی	بین ۸۰٪ تا ۱۲۰٪
خشکسالی ضعیف	۷۰ تا ۸۰٪
خشکسالی متوسط	۵۵ تا ۷۰٪
خشکسالی شدید	۴۰ تا ۵۵٪
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از ۴۰٪

ماخذ: (ادیب و گرجی‌زاده، ۲۰۱۶)

در این راستا، سناریوهای مختلف کم آبی و تاثیرات آن بر الگوی کشت بهینه بررسی خواهد شد.

جامعه آماری در این مطالعه، شالیکاران منطقه گهرباران واقع در شهرستان ساری می‌باشند. داده‌های مربوط به پژوهش حاضر برای بخش آبی مانند جریان ورودی رودخانه، جریان خروجی رودخانه، سهمیه آبیاری برای محصول و ... از شرکت آب منطقه‌ای و داده-های مربوط به بخش زراعی از جمله نیروی‌کار، سرمایه، زمین، آب، کود و..... از اداره جهاد کشاورزی و مرکز خدمات گهرباران، در سال ۱۳۹۹ به صورت خام جمع‌آوری گردید. همچنین جهت برآورد نتایج از نرم‌افزار matlab استفاده شده است.

نتایج و بحث

در این مطالعه با استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک در قالب استراتژی‌های کشاورزی پایدار، الگوی بهینه به عنوان خروجی نهایی استخراج شده است. در این راستا، ابتدا شاخص تعیین وضعیت آب و هوایی سال‌های مختلف محاسبه شده و سپس تاثیر آن بر الگوی کشت منطقه بررسی و با وضعیت فعلی مقایسه شده است. از آنجایی که یکی از اهداف موردنظر بررسی وضعیت آب و هوایی و به عبارتی اقلیم منطقه می‌باشد، لذا لازم است ابتدا شرایط کم آبی مورد محاسبه قرار گیرد. برای محاسبه وضعیت آب و هوایی از شاخص درصد نرمال استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول۲- طبقات مختلف شاخص PNI گهرباران

وضعیت	شاخص درصد نرمال	سال مورد مطالعه
نرمال آب و هوایی	٪۹۳	۹۵-۹۴
خشکسالی ضعیف	٪۷۴	۹۴-۹۳
خشکسالی متوسط	٪۶۰	۹۶-۹۵

نتایج حاصله از محاسبه شاخص PNI نشان می‌دهد که در دوره آماری ۱۳۹۸-۱۳۸۷ در منطقه گهرباران کم آبی شدید مشاهده نشده و بیشترین فراوانی در این ایستگاه مربوط به حالت نرمال آب و هوایی می‌باشد به عبارتی میزان بارش در منطقه به اندازه معمول بوده و دچار کم آبی نشده است. بنابراین با توجه به اینکه باقی سال‌های مورد بررسی منطقه دارای شرایط نرمال آب و هوایی بوده، تنها سال ۱۳۹۵- ۱۳۹۴ به عنوان نمونه ذکر شده است.

بدترین حالت مربوط به سال ۹۶-۹۵ می‌باشد که علت آن به کمبود بارش مرتبط است. در این مطالعه شرایط سال آبی نرمال با سال آبی خشک در حالت متوسط(خشکسالی متوسط) با استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک در قالب الگوی چندهدفه بهینه یابی شد. نتایج مدل در شرایط سال آبی نرمال در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول۳- الگوی بهینه کشت با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه در وضعیت سال آبی نرمال

	محصولات	الگوی کشت فعلی منطقه	الگوی الگوریتم ژنتیک چندهدفه	درصد تغییرات
سطح زیرکشت(هکتار)	برنج سنگ طارم	۱۰	۱۳۳۸	
	برنج طارم هاشمی	۱۱۰۰	۱۹۰۹	
	برنج فجر	۱۰	۳۷۹	
	برنج شیرودی	۳۶۰۰	۳۲۹	
	برنج ندا	۱۰	۷۰۱	
	کل	۴۶۳۰	۴۶۵۵	
هدف حداکثر سود هر واحد آبیاری (ریال/مترمکعب)		۵۵۲۲۷	۶۴۲۲۱	۱۶
هدف حداقل مصرف آب در تولید محصول (مترمکعب/ریال)		۰/۵۲۲۹	۰/۵۰۴۱	-۳/۵
هدف حداقل آلایندگی آب ناشی مصرف کود نیتروژن در هر واحد سود (کیلوگرم/ریال)		۰/۰۰۰۱۵۸	۰/۰۰۰۱۳۰	-۱۷/۵

ماخذ:یافته‌های تحقیق

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، ارقام برنجی که در منطقه مورد مطالعه کشت می‌شود شامل برنج سنگ طارم، برنج طارم هاشمی ، برنج فجر ، برنج شیرودی و برنج ندا می‌باشد. طبق الگوی کشت فعلی، از میان این محصولات، برنج شیرودی بیش‌ترین سهم را در الگوی کشت جاری به خود اختصاص داده است. که علت آن می‌تواند به دلیل همواره فراهم بودن بازار خرید و فروش این رقم و عملکرد بالای این محصول نسبت به سایر ارقام باشد. با توجه به اینکه در سال جاری قیمت آن با رقم مرغوب اختلاف زیادی نداشته و کشاورز همواره بدنبال حداکثر سود می‌باشد، انگیزه برای کشت این رقم افزایش یافته است. هم‌چنین، برنج طارم هاشمی به دلیل کیفیت بیشتر این نوع برنج و مصرف خانگی این محصول، رتبه بعدی در کشت محصولات را به خود اختصاص داده است.

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مدل چندهدفه ژنتیک در حالت نرمال، پیشنهاد می‌کند که پنج نوع محصول برنج سنگ طارم، طارم هاشمی، فجر، شیرودی و ندا به ترتیب با سطح کشت ۱۳۳۸، ۱۹۰۹،۳۷۹، ۳۲۹ و ۷۰۱ هکتار کشت شوند. همانطور که مشاهده می‌شود مطابق با خروجی‌های مدل با استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک در شرایط نرمال آب و هوایی و با لحاظ توام تمامی اهداف مورد نظر مطالعه، بخش عمده زمین‌های تحت کشت شالی(۴۱٪)، به برنج رقم مرغوب اختصاص می‌یابد. این امر می‌تواند به این علت باشد که رقم برنج مرغوب مقدار کود کمتری نسبت به نوع پرمحصول دریافت می‌کند (برنج مرغوب ۲۵۰-۳۰۰ کیلو کود در هر هکتار و برنج پرمحصول ۶۰۰-۷۰۰ کیلو در هر هکتار) در نتیجه دارای ضریب انتشار کمتری می‌باشد. همچنین مصرف آب در ارقام پرمحصول، بیشتر نیز می‌باشد. ارقام پرمحصول (شیرودی، فجر، ندا،....) بر اساس اظهارات کارشناسی به دلیل طول دوره رشدشان حدود ۲۵ تا ۳۵ روز بیشتر از ارقام محلی است، نیاز آبی آنها هم سه هزار متر مکعب در هکتار بیشتر است. میزان آب مصرفی اراضی شالیزاری به ازای هر هکتار به طور میانگین در ارقام محلی هشت تا ۹ هزار مترمکعب است ولی در ارقام پرمحصول تا ۱۲ هزار متر مکعب می‌باشد (اسدی و همکاران ۲۰۱۸).

با توجه به جدول شماره ۳ در بین ارقام پرمحصول نیز، رقم ندا بیشترین سطح زیرکشت را بخود

اختصاص داده است. این برنج در میان ارقام پرمحصول نسبتا میان‌رس تر است. در واقع نیاز به حجم آب مصرفی کمتری نسبت به شیرودی و فجر دارد. همچنین با توجه به عملکرد بالای این نوع برنج، سود بیشتری را نیز عاید کشاورز خواهد نمود. جدول ۳، هدف حداکثرسازی سود به میزان آب مصرف شده که به نوعی شاخص میزان اتلاف آب در الگوی بهینه را محاسبه می‌کند نشان می‌دهد که به ازای مصرف یک مترمکعب آب جهت کشت ترکیبی ارقام برنج ۶۴۲۲۱ ریال ارزش خالص اقتصادی تولید را سبب خواهد شد. هدف حداقل مصرف آب در جدول ۳ بیان می‌کند که به ازای یک ریال سود بدست آمده از کشت پنج رقم برنج سنگ طارم، طارم هاشمی، فجر، شیرودی و ندا در حالت نرمال آب و هوایی به میزان ۰/۵۰۴۱مترمکعب بر ریال، آب صرفه-جویی خواهد شد. با توجه به اینکه هدف حداکثرسازی همزمان سود، ذخیره آب و حداقل‌سازی اثرات زیست محیطی می‌باشد، مدل ژنتیک نرمال بیشترین سهم از کشت را به محصول برنج طارم هاشمی اختصاص می-دهد.

همچنین هدف حداقل آلایندگی آب ناشی از مصرف کود مدل بیان می‌کند به ازای یک ریال سود اقتصادی که از کشت ۱۳۳۸ هکتار برنج سنگ طارم، ۱۹۰۹ هکتار برنج طارم هاشمی، ۳۷۹ هکتار برنج فجر، ۳۲۹ هکتار برنج شیرودی و ۷۰۱ هکتار برنج ندا بدست می‌آید، به میزان ۰/۰۰۰۱۳۰ کیلوگرم آلودگی ناشی از مصرف کود نیتروژن در زمین منتشر خواهد شد. با اجرای الگوی پیشنهادی، هدف بهره‌وری اقتصادی از ۵۵۲۲۷به ۶۴۲۲۱ریال به ازای کل سطح کشت افزایش می‌یابد. همچنین هدف حداقل مصرف آب ۳/۵ درصد نسبت به الگوی فعلی کاهش را نشان می‌دهد. هدف زیست‌محیطی پیشنهادی توسط الگوریتم ژنتیک ۱۷/۵ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی کاهش یافته است. بنابراین می‌توان گفت که الگوی فعلی منطقه بهینه نبوده و استفاده از نتایج الگوی پیشنهادی مدل الگوریتم ژنتیک از لحاظ اقتصادی، اکولوژیکی و زیست‌محیطی مدل بهتری نسبت به الگوی فعلی منطقه می‌باشد. مقدار سطح زیرکشت بهینه براساس مدل الگوریتم ژنتیک در شرایط آب و هوایی خشکسالی متوسط در جدول ۴ نشان داده شده و با الگوی فعلی منطقه مورد مقایسه قرار گرفته است. طبق نتایج ارائه شده در جدول ۴، استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک در شرایط آب و هوایی خشکسالی متوسط، تأثیر زیادی بر الگوی کشت محصولات داشته، به گونه‌ای که ترکیب محصولات در جهت تامین اهداف، دچار تغییر شده است اما جهت تغییر هر یک از محصولات در دو حالت مشابه یکدیگر می‌باشد. در حالت خشکسالی متوسط نیز مانند حالت نرمال، برای تامین اهداف کشاورزی پایدار به ترتیب نوع طارم هاشمی، سنگ طارم، ندا، فجر و شیرودی پیشنهاد شده است.

جدول۴- الگوی بهینه کشت با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه در وضعیت سال آبی خشک (خشکسالی متوسط)

	محصولات	الگوی کشت فعلی منطقه	الگوی الگوریتم ژنتیک چندهدفه	درصد تغییرات
سطح زیرکشت	برنج سنگ طارم	۱۰	۱۴۵۰	
	برنج طارم هاشمی	۱۱۰۰	۲۰۰۰	
	برنج فجر	۱۰	۲۷۰	
	برنج شیرودی	۳۶۰۰	۳۲۵	
	برنج ندا	۱۰	۶۰۰	
	کل	۴۶۳۰	۴۶۵۵	
هدف حداکثر سود هر واحد آبیاری (ریال/مترمکعب)		۵۵۲۲۷	۶۵۰۷۴	۱۷
هدف حداقل مصرف آب در تولید محصول (مترمکعب/ریال)		۰/۵۲۲۹	۰/۴۰۳۵	-۲۲
هدف حداقل آلایندگی آب ناشی مصرف کود نیتروژن در هر واحد (کیلوگرم/ریال)		۰/۰۰۰۱۵۸	۰/۰۰۰۱۲۵	-۲۰

ماخذ:یافته‌های تحقیق

همان طور که در جدول ۴ مشاهده شد، در آب و هوای گرم به دلیل کاهش بارندگی و جریان ورودی و افزایش تبخیر ذخیره سد، آب ورودی به منطقه کاهش یافته و مدل پیشنهاد می‌دهد ارقام کم مصرف‌تر آب، سطح زیرکشت بزرگتری را به خود اختصاص دهند. در این شرایط نوع طارم هاشمی، ازلحاظ سطح زیرکشت با ۲۰۰۰ هکتار در رتبه اول قرار دارد. همچنین نتیجه الگوی بهینه، کمترین مقدار سطح کشت ۲۷۹ هکتار را به برنج رقم فجر اختصاص داد. این بدین معنی است که کشت بالای این محصول در این شرایط آب وهوایی به دلیل نیاز بالای آن به آب و کود، چندان منطقی نیست. بطور کلی در این حالت همانند وضعیت نرمال آب و هوایی، سطح زیرکشت برنج مرغوب بیشتر از سطح کشت برنج پرمحصول نتیجه داد. علت این مسئله را می‌توان در بالاتر بودن مقدار آب مصرفی برنج پرمحصول جستجو کرد. لازم به توضیح است که بالاتر بودن مقدار مصرف آب در برنج پرمحصول نسبت به برنج مرغوب مربوط به طولانی‌تر بودن دوره کاشت تا برداشت این محصول می‌باشد. همچنین در این حالت نتیجه هدف حداکثر سازی سودبه میزان آب مصرف شده یا (به عبارتی دیگر بهره‌وری اقتصادی آب)، بیانگر آن است که کشاورزان به ازای هر مترمکعب آب مصرفی معادل ۶۵۰۷۴ریال بهره‌وری اقتصادی بدست خواهند آورد. بهره‌وری اقتصادی آب بدین معنی که با کسب بالاترین سود خالص (از دیدگاه مالی) کمترین میزان مصرف آب (از دیدگاه فیزیکی) نصیب بهره‌برداران نماید. از این رو چنانچه الگو و ترکیب زراعی مطابق با شرایط فوق در منطقه مورد مطالعه سامان یابد، ضمن افزایش رشد اقتصادی در بخش کشاورزی، استفاده بهینه از منابع آب بدون آثار تخریبی و بحران‌زا را نیز نتیجه خواهد شد. با مشاهده جدول شمار ۴ می‌توان دریافت که در حالت خشکسالی متوسط، مصرف آب ۰/۴۰۳۵ مترمکعب بر ریال می‌باشد. در واقع در حالتی که منطقه مورد مطالعه دچار این نوع خشکسالی شود با کشت ۱۴۵۰ هکتار سنگ طارم، ۲۰۰۰ هکتار طارم هاشمی، ۲۷۹هکتار فجر، ۳۵۰ هکتار شیرودی و ۶۰۰ هکتار ندا، ۰/۴۰۳۴ مترمکعب بر ریال، در مصرف کل آبی که وارد منطقه می‌شود، می‌توان صرفه‌جویی کرد. همانطور که ملاحظه می‌شود هدف زیست‌محیطی حداقل‌سازی آلودگی ناشی از مصرف کود شیمیایی در الگوی بدست آمده از مدل ژنتیک در حالت خشکسالی متوسط ۰/۰۰۰۱۲۵ کیلوگرم بر ریال می‌باشد. نتایج این مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای کشت غالب منطقه همانند شرایط نرمال آب و هوایی نشان می‌دهد که الگوی فعلی منطقه بهینه نیست. با اجرای الگوی پیشنهادی هدف بهره‌وری اقتصادی از ۵۵۲۲۷ به ۶۵۰۷۴ریال بر مترمکعب نسبت به شرایط فعلی در کل فصل زراعی، به ازای کل سطح زیرکشت افزایش می‌یابد. مصرف آب نیز نسبت به الگوی فعلی ۲۲ درصد کاهش یافته است. یعنی در شرایط فعلی، افراد بدون توجه به خشکسالی، آب را مصرف می‌کنند در صورتیکه با انتخاب درست الگوی کشت می‌توان به میزان قابل توجهی در مصرف آب صرفه‌جویی انجام داد. نتایج بدست آمده در حالت کم آبی نشان می‌دهد که که با توجه به نیاز آبی گونه‌های مختلف و شرایط اقلیمی منطقه، برای پاسخگو بودن به نیازهای غذایی، رقمی باید در الگوهای بهینه قرار گیرند که متناسب با نیازهای آبی منطقه باشند، که در بین ۵گونه مورد مطالعه بهترین گزینه، رقم طارم هاشمی به دلیل مصرف آّب کمتر در دوره کشت می‌باشد. از مزایای انتخاب الگوی پیشنهادی کاهش هزینه تولید و افزایش درآمد، کاهش آلودگی زیست‌محیطی خواهد بود. همانطور که از جدول شماره ۴ مشاهده می‌شود، هدف زیست‌محیطی پیشنهادی توسط الگوریتم ژنتیک ۲۰ درصد نسبت به الگوی فعلی کاهش یافته است. که این بیان می‌کند تنها باید انتخاب درست میزان سطح زیرکشت نوع رقم آلودگی ناشی از مصرف کود نیتروژن به مقدار ۲۰ درصد کمتر خواهد شد. با مقایسه شرایط

در جدول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که در شرایط کنونی اهداف کشاورزی پایدار نسبت به حالت نرمال آب و هوایی و خشکسالی متوسط در شرایط مساعدی قرار ندارد. همچنین اگر در سال آبی خشک نیز طبق الگوی پیشنهادی عمل شود، می‌توان منطقه را از شرایط بحرانی کمبود آب خارج کرد. بنابراین در حالت خشکسالی متوسط نیز همانند شرایط نرمال می‌توان گفت که استفاده از نتایج الگوی پیشنهادی ژنتیک نسبت به الگوی فعلی منطقه، برتری دارد. با توجه به کاهش منابع آبی در چند سال گذشته که دلیل اصلی آن تغییرات آب و هوایی و نیز افزایش مصرف آب ناشی از افزایش جمعیت می‌باشد، لازم است از منابع آبی موجود به بهترین نحو استفاده گردد و با اعمال مدیریت صحیح آبیاری، بهره‌وری آب را در بخش کشاورزی تا حد ممکن افزایش داد. همچنین گیاه برنج بدلیل رشد در شرایط غرقابی دارای آب‌شویی بالای می‌باشد، به‌همین دلیل بهینه مصرف کردن کودهای شیمیایی در تولید برنج، اهیمت مضاعفی می‌یابد. به‌طور کلی می‌توان بیان داشت که اجرای صحیح الگوی بهینه، می‌تواند از مصرف غیر بهینه کودهای شیمیایی استفاده می‌نمایند جلوگیری نموده و زارعین را به سمت ترکیب تغذیه‌ای خاک به گونه‌ای هدایت نماید که علاوه بر داشتن حداکثر عملکرد، از آلودگی زیست‌محیطی جلوگیری شود.

نتیجه‌گیری

امروزه کشاورزی غیرپایدار به‌عنوان یک تهدید برای زیست‌بوم‌ها مطرح می‌شود. به همین خاطر در دو دهه اخیر توجه برنامه‌ریزان به پایداری کشاورزی افزایش یافته تا هم از نظر اقتصادی سودآور، از دیدگاه اجتماعی مناسب و از لحاظ زیست‌محیطی سازگار با طبیعت باشد. این مطالعه به‌منظور تعیین الگوی کشت بهینه با سه هدف، حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی مصرف آب و حداقل‌سازی آلودگی منابع طبیعی در قالب الگوی چندهدفه با استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک در دو وضعیت نرمال آب وهوایی و خشکسالی متوسط مورد بررسی و نسبت به شرایط فعلی منطقه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد الگوی پیشنهادی الگوریتم ژنتیک در هر دو حالت آب و هوایی نسبت به الگوی فعلی منطقه دارای برتری است و دستیابی مناسب‌تری به اهداف را نشان می‌دهد که با نتایج مطالعه یوسف‌دوست و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. همچنین، مشاهده می‌شود در هر دو حالت آب و هوایی، رقم طارم هاشمی بیشترین سطح کشت را به خود اختصاص داده و این امر می‌تواند سود بیشتر، مصرف آب کمتر و آلایندگی کمتر این رقم در مقایسه با سایر ارقام را نتیجه دهد. همچنین در هر دو حالت آب و هوایی مدل الگوریتم ژنتیک، کمترین میزان سطح کشت را به رقم پرمحصول پیشنهاد می‌کند که می‌توان دلیل آن را مصرف بیشتر آب و کود شیمیایی این ارقام بیان کرد. با توجه به لحاظ الگوی چندهدفه برآوردی در هر دو وضعیت آب و هوایی، پیشنهاد می‌شود رقم طارم هاشمی بیشترین سطح کشت را بخود اختصاص دهد و کشاورزان منطقه بهتر است با توجه به میزان منابع در اختیارشان، این محصول را جایگزین دیگر ارقام نمایند. با مشاهده الگوی کشت جاری، برنج شیرودی بالاترین میزان کشت را بخود اختصاص داده است این در حالی است که این محصول مصرف آب بالایی هم دارد. ولی از آنجا که کشاورزان منطقه چندسالی است که به دلیل بالابودن نسبی سود این رقم نسبت به سایر ارقام برنج، این محصول را به عنوان رقم غالب در الگوی کشت خود منظور نموده‌اند، لذا مسلماً کشاورزان به دلیل ماهیت ریسک گریزی که دارند، اگر بخواهند در راستای کاهش مصرف آب قدمی بردارند، در درجه‌ی اول به درآمد گذشته‌ی خود می‌نگرند و رقمی را انتخاب می‌کنند که منافعی همانند گذشته حاصل کند. لذا باقی ماندن این محصول در الگوی کشت حتی با وجود تأکید بر کاهش مصرف آب، منطقی به نظر می‌رسد. نتایج این مطالعه با نتیجه اندک مطالعات مشابه انجام شده، مطابقت دارد. به عنوان مثال با نتیجه مطالعه شعبانی و هنر (۲۰۰۸) در زمینه بهینه کردن الگوی کشت و مدیریت آبیاری درکانال اردیبهشت، مطالعه گنجی و همکاران (۲۰۱۸) به‌منظور حداکثر رساندن سود و کاهش حداکثری مصرف آب و همچنین مطالعه آداما و همکاران (۲۰۲۰) با هدف تخصیص بهینه آب برای به حداکثر رساندن بهره‌وری عملکرد، نشان دادند الگوی کشت و مصرف آب فعلی منطقه بهینه نبوده است و الگوریتم

ژنتیک مدلی بهینه برآورد می‌کند. الگوی بهینه در حالت نرمال آب و هوایی هدف اقتصادی را ۱۶ درصد افزایش خواهد یافت که با مطالعه فال سلیمان و چکشی (۲۰۱۱) بر مبنای افزایش بهره‌وری اقتصادی الگوی بهینه همخوانی دارد. هدف اکولوژیکی ۳/۵ درصد کاهش می‌یابد که با مطالعه شیرشاهی و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر کاهش مصرف آب توسط الگوی بهینه مطابقت دارد. همچنین هدف زیست‌محیطی نیز در وضعیت نرمال آب و هوایی ۱۷/۵ درصد بهبود خواهد یافت. همچنین در حالت وضعیت آب وهوایی خشک هدف اقتصادی ۱۷ درصد افزایش که با مطالعه اوچینگ و همکاران (۲۰۱۶) که موجب افزایش سود می‌شود، مطالبقت دارد همچنین در حالت وضعیت آب وهوایی خشک هدف اقتصادی ۱۷ درصد افزایش، هدف اکولوژیکی ۲۲ درصد کاهش و هدف زیست‌محیطی ۲۰ درصد کاهش را نسبت به الگوی کشت فعلی منطقه نشان می‌دهد. بنابراین همان‌گونه که نتایج مطالعه حاضر همسو با سایر مطالعات می‌باشد، اگر کشاورزان به صورت سنتی به کاشت محصولات خود اقدام نمایند، نه تنها از به دست آوردن سود بیشتر باز می‌مانند بلکه با در نظر نگرفتن آیندگان، محیط کشت محصولات با خطرات زیادی مواجه خواهد شد. لذا با توجه به اولویت از اهداف مطالعه کشت ارقام مختلف برنج در منطقه گهرباران در هر دو حالت آب و هوایی، توصیه می‌شود، کشت‌های با مصرف آب بالا، بازده اقتصادی پائین و مصرف کود زیاد بایستی از الگوی کشت حذف شود و یا مقدار کمتری را به آن‌ها اختصاص داد. این عمل از یک سو باعث کاهش مصرف و استحصال آب شده و از سویی دیگر متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود دولت با ارائه سیاست‌های حمایتی و ارتباط بین مراکز اجرایی دولتی مانند جهاد کشاورزی با مراکز تحقیقاتی، الگوی بهینه پیشنهادی مطالعه حاضر را در منطقه مورد نظر اجرا نماید.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر برگرفته از نتایج طرح پژوهشی با کد ۲۹-۱۳۹۹-۰۲ است که با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری صورت گرفته است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Abbasi A and Ghadami M, 2006. The effect of optimizing the cultivation pattern in reducing water consumption and increasing income. 7 Biennial Conference of Agricultural Economics. (In Persian).

Adib A and Gorgizadeh A, 2016. Evaluation and Monitoring of drought using of drought Indexes: Case study the Dez watershed. Irrigation and water engineering, 26: 173-185. (In Persian).

Asadi H, Latifi V and Ebrahimi E, 2018. Study of the Phosphorus Losses from Different Watersheds in Guilan province. Amirkabir Journal of Civil Engineering, 50(4): 641-654. (In Persian).

Baghrian A, Saleh A and Peykani Gh, 2007. Optimization of cropping pattern in Kazeroon region using linear programming method. Sixth Biennial Conference of Iranian Agricultural Economics Association, Mashhad. 8 and 9 November. (In Persian).

Barzegari M and Ghazal soflo 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).

Chizari A and Ghasemi A, 1999. Application of mathematical planning in determining the optimal cultivation pattern of crops. Journal of Agricultural Economics and Development, 28(7): 61-76. (In Persian).

Ganji N, Abdos M and Moghari M, 2018. Using of Metaheuristic Water Cycle Algorithm in order to Determine Optimal Crop Cultivation across of Genetic Algorithm and linear programming (Case Study: Varamin Irrigation Network). Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 23(3): 211-222. (In Persian).

Geng Nb, Zhengb Y, Hanb F and Huapeng Q, 2019. The nexus of water, ecosystems and agriculture in arid areas: A multiobjective optimization study on system efficiencies. Agricultural Water Management, 223(2): pp 105697, ref 64.

Ghasemi M, Karamouz M, and Shui L, 2016. Farm-based cropping pattern optimization and conjunctive use planning using piece-wise genetic algorithm (PWGA): a case study. Modeling Earth Systems and Environment, 2(25): 2-12. (In Persian).

Falsoliman M and Chakoshi B, 2011. The role of optimal management of agricultural water consumption to increase productivity and sustainability of water resources in critical plains in arid and low water areas of the country (Case study: West of Birjand plain). Journal of Geography and Regional Developmenm, 16: 200-218. (In Persian).

Hashmi M, Mazandarani Zade H, Daneshkare Arasteh P and Zarghami M, 2019. Economic and environmental impacts of cropping pattern elements using systems dynamics. Civil Engineering Journal, 5(5): 1020-1032. (In Persian).

Hosseinzad J, Namvar A, Hayati B and Pishbahar E, 2014. Determination of crop pattern with emphasis on sustainable agriculture in the lands below the alavian dam and its network. Agriculture Science and Sustainable production, 24(2): 41-54. (In Persian).

Ikudayisi A, Adeyemo J, Odiyo J and Enitan A, 2018. Optimum irrigation water allocation and crop distribution using combined Pareto multiobjective differential evolution. Cogent Engineering, 2331-1916.

Kashiri Kolaei F, Hosseini-Yekani A and Mojaverian M, 2020. Optimization of virtual water consumption with emphasis on uncertainty of rainfall and crop price (A case Study: Sari Gherbaran. Agriculture Science and Sustainable Production, 30(3):267-293. (In Persian).

Khoshnavaz s, 2020. Uncertainty analysis of water distribution planning in mian-ab irrigation network in shooshtar plain: application of genetic algorithm and simulated annealing. Iranian Journal of Soil and Water Research, 52(1): 152-163. (In Persian).

Lopez e, Orengo J, Tarjuelo J and Martínez A, 2017. Development of a direct-solution algorithm for determining the optimal crop planning of farms using deficit irrigation. Agricultural Water Management 171. 173-187.

Nouiri I, 2014. Multi-objective tool to optimize the Water resources management using genetic algorithm and the pareto optimality concept. Water Resources Management, 28: 2885–2901.

Mirzaie Sh, Zakerinia M, Shahabifar M and Sharifan H, 2017. Determining optimum cropping pattern using genetic algorithm (case study: Golestan dam irrigation and drainage network. Irrigation Sciences and Engineering, 40(3):181-190.

Ochieng J, Kirimi L and athenge M, 2016. Effects of climate variability and change on agricultural production: The case of small scale farmers in Kenya. 77: 71-78.

Raju K and Kumar D, 2004. Irrigation planing using genetic algorithms. Water Resour Management, 18(2): 163-176.

Rezaee Z, Dourandish A and Nobahar A, 2012. Determination of cultivation pattern under three strategies of economic, social, environmental with application of genetic algorithms: (Case study of Mashhad). Biennial Conference of Agricultural Economics, 1607- 1615. (In Persian).

Saeidian B, Saadi Mesgari M and Ghodousi M, 2015. Optimum allocation of water to the cultivation farms using Genetic Algorithm. International Conference on Sensors & Models in Remote Sensing & Photogrammetry, XL-1/W5. 631-638.

Shabani M and Honar T, (2008). Determining the optimal cultivation pattern in irrigation canals using IPM model. Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology), 2(22): 95-106.

Shirshahi F, Babazadeh H, Ebrahimipak N and Khaledian K, (2020). Determining Optimum major Crops Cultivation Areas in Different Levels of deficit Irrigation in Qazvin Irrigation and drainage district. Journal of Soil and Water Science, 30(1): 69-81. (In Persian).

Singh A and Panda S.N, 2012. Development and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return. Agricultural Water Management, 115: 267-275. (In Persian).

Yosefdost A, Mohamadrezapur A and Ebrahimi M, 2016. Applying Genetic algorithms in determining optimal cropping pattern in different weather conditions in Qazvin plain. Journal "Water Research in Agriculture, 3(3):317-331. (In Persian).