نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴ شماره ۱ / بهار ۱۴۰۳/ صفحات ۲۸۶-۲۶۹

the Optimal Pattern of Rice Cultivation in the Direction of Agricultural Sustainability with an emphasis on Reducing Greenhouse Gas Emissions (Case study: South Bisheh of Babol city)

Khadijeh Abdi Rokni[1], Somayeh Shirzadi Laskookalayeh[2*], Hamid Amirnejad[3]

Received: 11 December 2022 Accepted: 12 April 2023
1-PhD Student of, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
2-Asist. Prof., of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
3- Prof., of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
*Corresponding Author Email: s.shirzadi@sanru.ac.ir.

Abstract

Background and Objective: The aim of the present study was to optimize the cultivation pattern of rice cultivars with the aim of reducing greenhouse gas emissions caused by the consumption of chemical fertilizers and fuel in the agricultural lands of the southern Bisheh area of Babol city using a multi-objective mathematical planning model.

Materials and Methods: In this study, first, the epsilon constraint method is used to solve the multi-objective mathematical programming model, including three objectives: maximizing the profit of the farmers in the region (economic objective), reducing water consumption and reducing greenhouse gas emissions due to the use of chemical fertilizers and fossil fuels (environmental objectives).) was used and finally, using the max-min method, the best solution was selected from the Pareto set. The statistical population of the research are the farmers of South Bisheh region of Babol city. The relevant data were collected from the Regional Agricultural Jihad Department and the Satba Organization in 1400, and the model was optimized using Matlab software.

Results: The results showed that the proposed optimal model was able to adequately meet the objectives of the study. In the optimal situation, with the implementation of the proposed model, the profit of the farmers of the region will increase from 574.34 to 578.62 million Rials About 0.07 percent per hectare compared to the current situation in the entire cropping season. Also, the results of the model suggested the optimal amount of energy consumption of 2864 kilowatt hours in the form of combined consumption (84% of fossil energy and 16% of solar energy) in irrigation water pumping. The optimal amount of water consumption was also 13760 cubic meters per hectare, which shows a savings of 0.05% percent compared to the current situation. In the last part of the results, by choosing the optimal cultivation pattern and the combined fossil-solar pump system in the irrigation of the region's lands, compared to the current conditions, the amount of greenhouse gas emissions has been reduced by 0.09%.

Conclusion :In optimal conditions, it is suggested that the Tarem variety occupies the largest amount of cultivated area, which is in line with the goals of sustainable agriculture due to the less consumption of water, and as a result, less energy of this variety. Due to the fact that the amount of savings in the consumption of chemical fertilizers, fossil fuels and the reduction of underground water pumping is significant compared to the change in the farmers' profit in the region and can have a good effect on the improvement of the environment. Therefore, the government's encouragement and support to farmers in the field of using renewable energy sources such as solar energy in providing agricultural fuel and promoting the optimal and appropriate amount of consumption of important production inputs (water and fossil fuels) and its timing can reduce environmental losses. Caused by agriculture to play a significant role.

Keywords: Epsilon Constraint Method, Rice Cultivars, Sustainability of Agriculture, Optimal Energy Portfolio, Water and Energy Management

CC BY NC
DOI: 10.22034/SAPS.2023.54411.2957

تعیین الگوی بهینه کشت ارقام برنج در راستای پایداری کشاورزی با تاکید بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (مطالعه موردی: بیشه جنوبی شهرستان بابل)

خدیجه عبدی رکنی[۱]، سمیه شیرزادی لسکوکلایه [۲*]، حمید امیرنژاد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۳

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

چکیده

اهداف: هدف مطالعه حاضر، بهینه‌یابی الگوی کشت ارقام برنج با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و سوخت مصرفی در اراضی زراعی منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ابتدا از روش اپسیلون محدودیت برای حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه شامل سه هدف حداکثرسازی سود زارعین منطقه (هدف اقتصادی)، کاهش مصرف آب و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف کود شیمیایی و سوخت فسیلی (اهداف محیط‌زیستی) استفاده شد و نهایتا با استفاده از روش حداکثر حداقل‌ها بهترین جواب از میان مجموعه پارتو انتخاب گردید. جامعه آماری پژوهش، زارعین منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل می‌باشند. داده‌های مربوطه از اداره جهاد کشاورزی منطقه و سازمان ساتبا، در سال ۱۴۰۰ جمع‌آوری شد، و با استفاده از نرم‌افزار matlab بهینه‌سازی مدل انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که الگوی پیشنهادی بهینه به‌طور مناسب توانسته است اهداف مطالعه را تامین نماید. در وضعیت بهینه با اجرای الگوی پیشنهادی، سود زارعین منطقه به‌ازای هر هکتار از ۵۷۴/۳۴ به ۵۷۸/۶۲میلیون ریال حدود ۰/۰۷ درصد نسبت به وضعیت فعلی در کل فصل زراعی، افزایش می‌یابد. همچنین نتایج مدل، مقدار بهینه مصرف انرژی را ۳۲۱۷ کیلووات ساعت به ازای یک هکتار به صورت مصرف توام (۸۴ درصد انرژی فسیلی و ۱۶ درصد انرژی خورشیدی) در پمپاژ آب آبیاری پیشنهاد داد. مقدار بهینه مصرف آب نیز، ۱۳۷۶۰ مترمکعب برهکتار بدست آمد، که نسبت به وضعیت فعلی، ۰/۰۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف را نشان می‌دهد. در بخش آخر نتایج، با انتخاب الگوی بهینه پیشنهادی و سیستم پمپ ترکیبی فسیلی-خورشیدی در آبیاری اراضی منطقه نسبت به شرایط فعلی، ۰/۰۹ درصد از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری: در شرایط بهینه پیشنهاد می‌شود رقم طارم بیشترین میزان سطح زیرکشت را به خود اختصاص دهد که این نتیجه با توجه به مصرف کمتر کود شیمیایی، آب و در نتیجه انرژی کمتر این رقم، همسو با اهداف کشاورزی پایدار می‌باشد. لذا تشویق و حمایت دولت از کشاورزان در زمینه استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیرهمچون انرژی خورشیدی در تأمین سوخت کشاورزی و ترویج مقدار مصرف بهینه و مناسب نهاده‌های مهم تولید(آب و سوخت) و بهنگام آن، می‌تواند در کاهش زیان‌های محیط‌زیستی ناشی از کشاورزی نقش به‌سزایی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: اپسیلون محدودیت، ارقام برنج، پایداری زراعت، سبد بهینه انرژی، مدیریت آب و انرژی

مقدمه

یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی در کشورهای جهان سوم، بخش کشاورزی می‌باشد، که به‌عنوان محور اساسی توسعه مطرح است (شاه‌محمدی و همکاران ۲۰۱۷). توسعه کشاورزی بدون نگرش پایداری به آن موجب بروز مسایل و مشکلاتی گردیده است که مصرف بی رویه مواد شیمیایی و تخریب محیط‌زیست از عمده‌ترین آن‌هاست. مفهوم کشاورزی پایدار از ویژگی-هایی نظیر حفاظت بلندمدت از منابع طبیعی، تولید بهینه با حداقل نهاده‌های تولید، ایجاد درآمد کافی از هر واحد بهره‌برداری و تامین تمام نیازهای غذایی تشکیل شده است. با توجه به اهداف کشاورزی پایدار و افزایش جمعیت و به تبع آن کاهش منابع، از سال ۲۰۱۵ به بعد سازمان ملل متحد مجموعه‌هایی از اهداف را با هدف تضمین آب و انرژی به منظور پایداری برای نسل‌های آینده در دستور کار خود قرار داده است (هلپ ۲۰۱۵). منابع طبیعی (آب و انرژی)، دارایی اصلی بخش کشاورزی را تشکیل می‌دهد (زمانی و همکاران ۲۰۱۴). بخش کشاورزی در سال‌های اخیر، بزرگترین و اصلی‌ترین مصرف‌کننده‌ی آب در کشور بوده است، به‌گونه‌ای که از ۹۲ میلیارد مترمکعب آب استحصال شده از ذخایر زیرزمینی و سطحی، ۹۲ درصد آن در بخش کشاورزی استفاده شده است. مدیریت ضعیف آبیاری در اغلب نقاط کشور و کاهش پایداری منابع آب، منجر به افزایش تقاضا برای این نهاده حیاتی و هدررفتن مقادیر قابل ملاحظه‌ای از آن شده است (کرامت زاده و همکاران ۲۰۱۱). با توجه به اینکه یکی دیگر از موانع مهم در دستیابی به پایداری کشاورزی، تبعات زیست‌محیطی حاصل از فعالیت کشاورزی است، توجه به کاهش اثرات زیست‌محیطی به‌عنوان یک هدف، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از جمله منابع آلودگی زیست‌محیطی که در کنار انجام فعالیت‌های کشاورزی حاصل می‌شود، به مصرف منابع انرژی فسیلی می‌توان اشاره نمود. برآوردها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۳۰، هزینه تغییرات اقلیم ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی از نظر انطباق اقلیمی، از ۵۰ میلیارد دلار به ۱۷۰ میلیارد دلار نسبت به سال ۲۰۲۰ افزایش می‌یابد که تنها نیمی از آن می‌تواند توسط کشورهای در حال توسعه تحمل شود. در سال-های اخیر کشورهای مختلف توجه زیادی به انرژی‌های تجدیدپذیر داشته‌اند. انرژی‌های تجدیدپذیر اساسا با طبیعت سازگار بوده و محیط‌زیست را سالم نگه می‌دارند و در نتیجه انتشار عمده گازهای گلخانه‌ای را کاهش می-دهد. کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی، صرفه‌های اقتصادی، ایجاد بستر مناسب برای تولید انرژی و توسعه‌ی پایدار، ایجاد بسترهای مناسب شغلی و سرمایه گذاری نتیجه‌ی حرکت به سوی انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. با توجه به مطالب گفته شده در خصوص اهمیت مدیریت آب و انرژی، یکی از مهم‌ترین تصمیمات برنامه-ریزان، مدل‌سازی الگوی کشتی می‌باشد، که بطورهمزمان به، مدیریت مصرف آب، کاهش آلودگی محیط‌زیست و بازده ثابت زارعین توجه نماید (عمرانی ۲۰۱۳). طراحی و اجرای الگوی کشت مناسب، نه تنها به منظور مقابله با خشکسالی و کم آبی، بلکه به منظور کنترل هر چه بیشتر عوامل محدودکننده و بهره‌برداری بهینه از امکانات موجود ضرورتی است. از مزایای اجرای الگوی کشت بهینه می‌توان به مواردی مانند کاهش مصرف آب، کاهش آلودگی زیست‌محیطی(ناشی از مصرف کود و سوخت فسیلی)، و افزایش سود اشاره کرد. از آن‌جایی که هدف اصلی علم اقتصاد، تخصیص منابع کمیاب بین فعالیت‌های رقیب می‌باشد، لذا استفاده از روش‌هایی که بتواند اهداف مذکور عملی کند، ضروری است (منعم و همکاران ۲۰۲۰).

برنج از جمله محصولات استراتژیکی است که اهمیت بسزایی را در تامین غذا و امنیت غذایی کشوردارد. اما عدم مدیریت در مصرف بهینه نهاده‌های تولیدی آن به جهت مصرف قابل توجه نهاده آب، انواع کود شیمیایی و سموم شیمیایی در تولید این محصول، لازم است برنامه-ریزی و ملاحظات مدیریتی مناسبی در تولید پایدار آن صورت گیرد. شهرستان بابل یکی از مناطق عمده تولید برنج در استان مازندران با متوسط سطح زیرکشت حدود ۴۵۷۹۸ هکتار می‌باشد، که برنج در آن بصورت نشاکاری و تحت آبیاری غرقابی کشت می‌شود. با توجه به اینکه برنج ۲ تـا ۳ برابـر بیشتر از سایر غلات آب مصرف می‌کند و همچنین به دلیل استفاده بیشتر از منابع

سوخت‌های فسیلی موردنیاز موتور پمپ‌های آب، بیشتر بودن مصرف کودهای شیمیایی در این محصول نسبت به بسیاری از محصولات زراعی، تعیین الگوی کشت ارقام مناسب و همچنین مصرف صحیح مصرف نهاده-های تولیدی آن، که می‌تواند علاوه بر تامین سودآوری مناسب کشاورزان، صرفه‌جویی در مصرف آب و منطقه به لحاظ پایداری شرایط محیطزیستی منطقه کمک شایانی نماید. منطقه بیشه جنوبی یکی از بخش‌های شهرستان بابل می‌باشد که ۵۵۰ هکتار از کل سطح کشت ۷۰۰ هکتاری آن به کشت برنج اختصاص دارد، که بیشترین رقم کشت شده در منطقه رقم طارم از نوع مرغوب و رقم شیرودی از نوع پرمحصول است. این منطقه در شش ماه اول سال در میزان دسترسی به آب سطحی دارای مشکلاتی است، به همین جهت آبیاری اراضی زراعی به شدت به منابع آب زیرزمینی وابسته هستند. در حال حاضر شدت استفاده از منابع آب برای مصارف کشاورزی در منطقه مورد مطالعه سبب کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی و مشکلاتی همچون کاهش و خشک شدن آب چاه‌ها، کاهش دبی آنها، کاهش کیفیت آب، را به وجود آورده است. علاوه بر آن، افزایش هزینه‌ی پمپاژ و استحصال آب، مصرف بیش از پیش کودهای شیمیایی در زارعت منطقه توسط زارعین از جمله مواردی است که بخش کشاورزی منطقه مذکور را با چالش جدی روبه رو کرده است (جهاد کشاورزی شهرستان بابل ۲۰۲۱). همچنین به لحاظ قیمت بالای انرژی فسیلی، کمبود حامل‌های انرژی در منطقه و شرایط مناسب جایگزینی و استفاده از انرژی تجدیدپذیری همچون انرژی خورشیدی (به لحاظ اینکه فصل کشت و تولید زراعت محصولات انتخابی در فصل گرم سال با تعداد روزهای آفتابی بالا است) در زراعت منطقه می‌تواند از جمله ملزومات و اهمیت بهبود مدیریت تولید انرژی در منطقه مذکور و مدیریت تولید محصولات باشد (جهاد کشاورزی شهرستان بابل ۲۰۲۱). بنابراین با توجه به مطالب ارائه شده، به لحاظ اهمیت تولید برنج و قابلیت منطقه در تولید آن، ضروری است که ارقام مناسب کشت این محصول براساس توجه به پایداری کشاورزی منطقه و تداوم زراعت برنج و تامین همزمان اهداف اقتصادی زارعین و محیطزیستی منطقه به‌نحو مطلوب تعیین شوند. مدل‌های بهینه‌سازی نهاده‌های تولید می‌تواند در دستیابی به هدف مذکور مفید واقع شود. با توجه به نوین بودن پژوهش حاضر، طبیعی است که پژوهشی مشابه پژوهش حاضر وجود نداشته باشد، لذا در این بخش مطالعاتی آورده شده است که نسبت به فازهای مطالعه، نزدیکی بیشتری داشتند. در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی، بهینه‌سازی مصرف آب و انتشار گازهای گلخانه‌ای مطالعات فراوانی بصورت مجزا انجام گرفته است، که سعی شده از هر بخش نمونه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. الهامی و همکاران (۲۰۱۵) بهینه‌سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید عدس آبی استان اصفهان با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها[1] مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط بهینه در یک هکتار زمین زراعی نسبت به شرایط واقعی، ۵ درصد کاهش یافته است. نهاده‌های الکتریسیته و سوخت دیزل به ترتیب ۳۷ درصد و ۳۲ درصد از کل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را به‌خود اختصاص دادند. کریم‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی چندهدفه با هدف حداکثرسازی سه شاخص سود ناخالص، بهره‌وری آب و کارایی انرژی به تعیین الگوی کشت در محدوده مشهد- چناران پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که تعیین الگوی کشت با استفاده از برنامه‌ریزی خطی با هدف بهره‌وری آب باعث کاهش ۲۷ درصدی تقاضای آب کشاورزی در محدوده مطالعاتی شد. در الگوی کشت حاصله درآمد خالص کشاورزان ۲/۸۸ برابر خواهد شد و بهره‌وری انرژی نیز ۲۸ درصد بهبود یافت. صادقی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی اثر افزایش سهم منابع انرژی تجدیدپذیر، بر روی رشد اقتصادی و انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از مدل خود رگرسیون ساختاری[2] پرداختند. نتایج حاکی از آن است افزایش مصرف انرژی تجدیدپذیر، منجر به افزایش رشد

[1] Data Envelopment Analysis

[2] Structural Vector Auto-Regressive

اقتصادی و کاهش انتشار CO_2 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. نصیری قیداری و معروفی (۲۰۱۸) یک مدل بهینه‌سازی برای برقراری تعادل میان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی آب، مورد استفاده قرار دادند. مقایسه جواب بهینه نشان داد که مدل بهینه‌سازی در حالت عدم قطعیت، موجب کاهش بهره‌برداری از آب رودخانه در مقایسه با مدل قطعی می‌باشد. این شرایط موجب بهبود وضعیت بارآلودگی تولیدی از ۹۴۹/۵۳ به ۴۸/ ۵۰۵ تن CO_2 در سال خواهد شد. پرورش‌ریزی و اشرف‌زاده (۲۰۱۸) جهت تحلیل هزینه‌های دوره عمر در سامانه‌های پمپاژ خورشیدی و دیزلی در مورد محصول انگور در منطقه کاشمر به طراحی و انتخاب پمپ آب کشاورزی در یک سیستم فتوولتائیک با توجه به شرایط بومی پرداختند. طبق نتایج، پمپ خورشیدی در این طرح آبیاری می‌تواند فقط برای توان کمتر از ۴/۵ وات با پمپ دیزلی رقابت کند، مگر اینکه یارانه متعلق به سوخت دیزل کاهش یابد. تقی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۹) مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های مصرفی برای تولید گندم آبی در استان اردبیل مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد کل انتشار، نسبت به حالت جاری کاهش یافته است. سود خالص حاصل از تولید گندم آبی نیز۲۳۶۹۱۲۹۹ریال بود که نشان دهنده توجیه اقتصادی تولید گندم آبی در استان اردبیل بود. در مطالعه‌ای دیگر، خوش نواز (۲۰۲۰)به منظور حداکثر نمودن سود و حفظ منابع آب، الگوی کشت شبکه آبیاری میان‌آب دشت شوشتر را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد کاربرد برنامه بهینه موجب کاهش سالانه ۷ میلیون‌مترمکعب در تخصیص آب و افزایش بیش از پنج میلیارد تومان در سود خالص کل الگوی دشت می‌گردد. تحلیل سیستم نشان داد با کاهش ۲۵ درصدی آبیاری بهینه، بهره‌وری اقتصادی آب حداقل ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت. یوسفی و همکاران (۲۰۲۱) نیز به بررسی الگوهای مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزارع چغندرقند روستای حسین آباد شهرستان شیروان، پرداخته‌اند. نتایج نشان داد، که انرژی ورودی و خروجی مزارع چغندرقند به ترتیب ۶۶۸۷۹/۵۲ و۱۳۱۵۷۱/۵۰ مگاژول در هکتار است. میزان پتانسلی گرمایش جهانی این گازها ۹۰۴۸ معادل کیلوگرم CO_2 محاسبه گردید. شیرشاهی و همکاران (۲۰۲۱) به منظور حداکثر نمودن سود و حداقل برهم خوردن پایداری منابع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه در کانال-های شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین توسعه دو تابع هدف مجزا ارایه نمودند. نتایج، حاکی از افزایش سود خالص به میزان ۶۴ درصد نسبت به الگوی کشت موجود از طریق کاهش سطوح زیرکشت محصولات با سود خالص کم و افزایش سطح زیرکشت محصولات با درآمد بالا می‌باشد. هم‌چنین با توجه به تعریف تابع هدف دوم، میزان آب مصرفی در شرایط بهینه ۲۰ درصد کاهش یافت. همچنین، قاسمپور وهمکاران (۲۰۲۲) با در نظر گرفتن مفاهیم توسعهٔ پایدار و با بررسی گلخانه‌ای در شهرستان رباط کریم استان تهران اجزای تولید توان تجدیدپذیر، سیستم ترکیبی بهینه با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مدل‌سازی نمودند. هزینهٔ خالص فعلی این سیستم ۲۱۵۶۲۶ دلار و هزینهٔ انرژی آن ۰/۰۸۴ دلار به ازای هر کیلووات ساعت است. این سیستم از انتشار ۶۶ تن کربن دی‌اکسید در سال جلوگیری می‌کند، که این مقدار منجر به کاهش ۶۱ درصدی انتشار این گاز گلخانه‌ای می‌شود.

از مطالعات خارجی، بارتزاس و کمنیتساس (۲۰۱۸) با هدف ارزیابی عملکرد انرژی تولید پسته آبی در یونان از نظر تقاضای انرژی بر اساس این نتایج، افزایش ۱۰ درصدی انرژی مصرفی از کودهای معدنی و ماشین آلات کشاورزی به ترتیب منجر به افزایش ۳/۸ درصدی و ۲/۴ درصدی در عملکرد پسته خواهد شد. در حالی که افزایش ۱۰ درصدی نیروی کار انسانی و سوخت دیزل منجر به کاهش تولید به‌ترتیب ۰/۹ درصد و ۰/۴ درصد

می شود. نیروی انسانی و سوخت دیزل نشان می‌دهد تلاش بیشتر انسان و مصرف سوخت دیزل منجر به کاهش عملکرد پسته می‌شود. اسلام و همکاران (۲۰۱۸) بررسی سیستم پنل خورشید ی و دیزل برای روستایی در شمال بنگلادش نشان داده‌اند، که سیستم خورشید نسبت به دیزله تنها، به‌صرفه‌تر و با برگشت هزینهٔ ۱۲ سال است. همچنین، استفاده از سیستم خورشیدی باعث کاهش ۷۵ درصد انتشار کربن دی‌اکسید می‌شود. ماندال و همکاران (۲۰۱۸) در مدل‌سازی تأمین انرژی یک روستا، بدون اتصال به شبکه دریافتند که مناسب‌ترین سناریو شامل پنل خورشیدی، دیزل ژنراتور و باتری است. این سیستم با هزینهٔ خالص فعلی ۳۵۷ هزار دلار و هزینهٔ انرژی ۰/۳۷ به ازای هر کیلووات ساعت می‌تواند تا ۶۰ درصد از انتشار کربن دی‌اکسید را کاهش دهد. همچنین، آلام و همکاران (۲۰۱۹) بررسی میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای در اثر تغییر تولید برنج غرقابی به نشاء غیرپوکه‌ای پرداختند. ارزیابی نتایج نشان داد انتشار گازهای گلخانه‌ای ۳۱ درصد در مقایسه با نشاء غرقابی فعلی کاهش خواهد یافت. همچنین صرف‌نظر از شیوه‌های استقرار برنج، CH_4 شایع‌ترین انتشار گازهای گلخانه‌ای بود که ۶۳ تا ۶۷ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای را شامل می‌شود. مدینا و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه با هدف عملکرد بهینه سیستم‌های آب، انرژی و غذا و کاهش انتشار برای جوامع کشاورزی مکزیک که از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر برای تولید محصولات غذایی و انرژی استفاده می‌کنند مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از بهبود قابل قبولی در ابعاد اجتماعی و محیطزیستی با حفظ شاخص اقتصادی می‌باشد. آداما و همکاران(۲۰۲۰) به منظور تخصیص بهینه آب برای به حداکثر رساندن بهره-وری و افزایش تولید محصول با استفاده از الگوریتم ژنتیک به تعیین الگوی بهینه کشت پرداختند. نتایج نشان داد الگوی کشت پیشنهادی دارای عملکرد بالاتری نسبت به شرایط فعلی می‌باشد. همچنین میزان مصرف آب از ۵/۱ به ۴/۹۶ کاهش یافته است.

بررسی پیشینه مطالعه نشان می‌دهد مدیریت ذخایر آب زیرزمینی و مدیریت مصرف انرژی در ایران دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد، که تاکید بر بهینه‌سازی مصرف انرژی (با استفاده از افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد مصرف انرژی)، و تأثیر آن بر الگوی بهینه کشت با لحاظ اهداف اقتصادی و محیطزیستی(حداقل‌سازی مصرف آب و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف کود شیمیایی و انرژی فسیلی) در کمتر مطالعه‌ای در ایران صورت گرفته است. اگر هم این مهم در مطالعه‌ای، لحاظ هردو هدف محیطزیستی و اقتصادی مورد تاکید قرار گرفت، در بخش هدف محیطزیستی آن مطالعات، تنها بر یکی از موارد مدیریت مصرف آب و یا کود شیمیایی توجه شده است. لذا، با توجه به مصرف قابل توجه نهاده آب، کود شیمیایی و سوخت فسیلی در تولید ارقام برنج، هدف مطالعه حاضر ارائه الگوی مدیریتی مصرف آب و انرژی در قالب مدل برنامه‌ریزی ریاضی با سه هدف حداکثرسازی سود زارعین، کاهش مصرف آب و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (ناشی از بهبود مصرف کود شیمیایی و استفاده از انرژی تجدیدپذیر در سوخت مصرفی) در منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر با توجه به ضرورت بیان شده جهت مدیریت آب و انرژی در منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل و با هدف تعیین الگوی بهینه کشت از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه با سه هدف پایداری کشاورزی (شامل حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی مصرف آب و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از بهبود مصرف کودهای شیمیایی و سوخت فسیلی در پمپاژ آب آبیاری)، اجرا شد که اهداف مذکور در روابط ۱ تا ۳ ارائه شده است.

$$\max F_{\text{profit}} = TR^{crops} - Cost^{Energy} - Cost^{product} \quad [۱]$$

$$\max F_{\text{profit}} = \sum_{t=1}^{T} \frac{1}{(1+r)^t} \left\{ \left(\sum_{i=1}^{I} \sum_{t=1}^{T} (A_i . Y_i) . P_{i,t} \right) - \left(\sum_{t=1}^{T} \left(\left([\, \omega^{PV} . C^{PV}] + [k_t^{v,PV} . P^{PV}] \right) \right) + \left([\omega^{DG} . C^{DG}] + [k_t^{v,DG} . P^{DG}] + \left[\frac{PF_t^{DG} . P^{DG}}{\eta_{DG}} \right] \right) \right) - \left(\sum_{i=1}^{I} \sum_{t=1}^{T} A_i . C_{i,t}^{product} \right) \right\}$$

$$min\, F_{water} = \sum_{i=1}^{I} (Gws . Pagw . A_i) \quad [۲]$$

$$min\, F_{Greenhouse\ Gas} = GE^{CO_2} + GE^{N_2O} + \gamma . GE^{CH_4} \quad [۳]$$

$$min\, F_{Greenhouse\ Gas} = \left(\sum_{i=1}^{I} A_i \left((\varepsilon_{DG} . P^{DG}) + (\varepsilon_{FT} . FT_i) \right) \right) + \left(\sum_{i=1}^{I} A_i . FT_i . \vartheta_{FT} \right) + \left(\sum_{i=1}^{2} A_i . \sigma^{CH_4} \right)$$

رابطه ۱، اولین هدف مدل برنامه‌ریزی ریاضی یعنی حداکثرسازی سود زارعین را نشان می‌دهد که در آن F_{profit} بیان‌کننده حداکثر سود است و TR^{crops} درآمد کل حاصل از فروش محصولات منهای هزینه کل، $Cost^{Energy}$، هزینه فن‌آوری‌های تولید برق و $Cost^{product}$ ، هزینه کاشت می‌باشد. لازم به توضیح است که در مطالعه حاضر، هزینه فن‌آوری شامل هزینه-های سرمایه‌گذاری، تعمیر و نگهداری دو نوع سیستم دیزلی و سیستم خورشیدی (سیستم خورشیدی مستقیم انرژی خورشیدی را به برق قابل استفاده در سیستم آبیاری تبدیل می‌کند و سیستم فسیلی، پمپ‌های آب کشاورزی می‌باشند که برای تامین سوخت مورد نیاز از بنزین و گازوئیل استفاده می‌کنند و برای استحصال آب زیرزمینی از چاه‌ها از سوخت فسیلی برای تامین انرژی موردنیاز استفاده می‌کنند.) (مدینا و همکاران، ۲۰۲۰) در نظر گرفته شده است. در واقع مصرف انرژی را به صورت به‌کارگیری ترکیب انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در پمپاژ آب آبیاری نشان می‌دهد. همچنین در رابطه ۱، r نرخ بهره، Y_iعملکرد رقم i ام، A_i سطح کشت رقم i ام و $P_{i,t}$ قیمت رقم i ام در زمانt ، ω^{PV}, ω^{DG}هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری سیستم‌های خورشیدی و سیستم فسیلی می‌باشد. $k_t^{v,PV}, k_t^{v,DG}$ نیز به ترتیب هزینه‌های متغیر تعمیر و نگهداری سیستم‌های خورشیدی و سیستم فسیلی در زمان t ، C^{PV}, C^{DG}ظرفیت تولید انرژی تکنولوژی خورشیدی و فسیلی ، P^{PV}, P^{DG} میزان تولید انرژی تکنولوژی خورشیدی و فسیلی. PF_t^{DG} و η_{DG} ضریب عملکرد سیستم فسیلی در زمان t و میزان راندمان سیستم فسیلی و در نهایت $C_{i,t}^{product}$ هزینه کاشت رقمi برنج در زمان t می‌باشد.

رابطه (۲)، هدف دوم مطالعه یعنی میزان صرفه‌جویی در مصرف آب را در تولید ارقام برنج نشان می‌دهد، که Gws ، مقدار پمپاژ آب زیرزمینی، $Pagw$ نسبت بهره-برداری از آب‌های زیرزمینی کشاورزی می‌باشد (مدینا و همکاران، ۲۰۲۰).

رابطه (۳) بیان‌کننده سومین هدف مطالعه یعنی کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای می‌باشد (یو و همکاران[3]، ۲۰۲۰). ازآنجاییکه فرآیند تولید و کاربرد نهاده‌های کشاورزی از طرفی و مصرف سوخت‌های فسیلی در اثر استفاده از ماشین‌های کشاورزی از سوی دیگر، موجب انتشار گاز دی اکسید کربن و دیگر انتشارات گلخانه‌ای به جو می-گردد. در بین گازهای منتشر شده نیز، کربن دی اکسید،

[3] Yue et al (2020)

متان و نیترواکسید به دلیل طول عمر زیاد و میزان بازتابش امواج فروسرخ از مهمترین گازهای گلخانه‌ای هستند. از این رو در گزارش‌های مربوط به میزان نشر گازهای گلخانه‌ای عمدتا نشر این گازها یعنی بار انتشار CO2 حاصل از استفاده از کود شیمیایی، سموم دفع آفات، ماشین‌آلات کشاورزی و آبیاری، بار انتشار N2O عمدتاً ناشی مصرف کودهای شیمیایی غنی از نیتروژن کود شیمیایی (اکسید نیتروژن سهمی حدود ۳۶ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی را به خود اختصاص داده است)، بار انتشار CH4 ناشی از شالیزار در نظرگرفته می‌شود (تقی‌زاد و همکاران ۲۰۱۹). لذا، در مطالعه حاضر، حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل CO2 ناشی از مصرف سوخت فسیلی مورد استفاده در موتور پمپ کشاورزی و کود شیمیایی، گاز N2O ناشی از مصرف کود شیمیایی و CH4 منتشر شده از زمین‌های کشت برنج مدنظر قرار گرفته است. در رابطه شماره ۳، GE^{CO_2}، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای CO2 می‌باشد. ε_{DG} و ε_{FT} به ترتیب بیان‌کننده میزان انتشار گاز گلخانه‌ای CO2 ناشی از مصرف سوخت فسیلی در سطح مزارع و مصرف کود شیمیایی در سطح مزارع می‌باشند. لازم به توضیح است که در این مطالعه میزان انتشار گاز دی اکسید کربن حاصل از مصرف نهاده‌های کشاورزی (سوخت دیزل و کود شیمیایی)، از حاصلضرب مقادیر هر یک از نهاده‌ها در ضرایب انتشار مربوط به آن نهاده در هر هکتار محاسبه گردید. ضرایب انتشار هر یک از نهاده‌ها در جدول ۱، نشان داده شده‌اند.

جدول۱- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای

نهاده (واحد)	ضریب انتشار گلخانه‌ای(کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر واحد)	مرجع
کود شیمیایی		
نیتروژن(کیلوگرم)	۱/۳	(Lai, 2004)
کود شیمیایی فسفات(کیلوگرم)	۰/۲	(Lai, 2004)
کود شیمیایی پتاسیم(کیلوگرم)	۰/۲	(Lai, 2004)
سوخت (لیتر)	۲/۷۶	(Tzilivakis et al., 2005)
زمین شالیزاری	۸۰/۲	(Medina et al., 2005)

اهداف ارائه شده در روابط (۱) تا (۳) مشروط به محدودیت‌هایی تامین می‌شوند، که این محدودیت‌ها عبارتند از محدودیت جریان انرژی، آب، کود، سرمایه و زمین، که در روابط ۴ تا ۹ نشان داده شده است (مدینا و همکاران، ۲۰۲۰).

رابطه [۴]
$$P^{PV} \leq C^{PV}.CF^{DG}.h$$

رابطه [۵]
$$P^{DG} \leq C^{DG}.CF^{DG}.h$$

رابطه [۶]
$$\sum_{i=1}^{I} Wa_i.A_i \leq Wa_{TOT}$$

رابطه [۷]
$$\sum_{i=1}^{I} FT_i.A_i \leq [FTT]_{TOT}$$

رابطه [۸]
$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} Ca_{i,t}.A_i \leq Ca_{TOT}$$

رابطه [۹]
$$\sum_{i=1}^{I} A_i \leq A_{TOT}$$

رابطه ۴ و ۵ محدودیت جریان انرژی را نشان می‌دهند، که در آن، CF و h به ترتیب برابرضریب ظرفیت تکنولوژی تولید انرژی (سیستم موتور پمپ خورشیدی PV و سیستم پمپ فسیلیDG) و h زمان کارکرد فن-آوری‌های مذکور جهت تولید برق سالانه می‌باشند. محدودیت آب که در رابطه۶ نشان داده است. Wa_i نیاز آبی محصول i و Wa_{TOT}میزان کل آب می‌باشد. رابطه شماره ۷ محدودیت کود شیمیایی را نشان می‌دهد، که در این رابطه، FT_i مقدار کود شیمیایی موردنیاز برای یک هکتار رقم iام برنج و $[FTT]_{TOT}$ کل کود شیمیایی موجود می‌باشند. همچنین محدودیت رابطه شماره ۸ محدودیت سرمایه می‌باشد. که در آن، $Ca_{i,t}$ مقدار سرمایه موردنیاز برای کشت یک هکتار رقم iام برنج در زمانt ام و Ca_{TOT} کل سرمایه موجود می‌باشد. رابطه ۹، نیز مربوط به محدودیت زمین می‌باشد که در آن، A_{TOT} و A_i به ترتیب میزان کل سطح زیرکشت برنج و سطح زیرکشت هر رقم iام می‌باشد (یو وهمکاران، ۲۰۲۰).

در این مطالعه، با استفاده از روش اپسیلون محدودیت[4] که به‌عنوان یکی از رویکردهای دقیق شناخته شده و پرکاربرد جهت حل مسائل چندهدفه مطرح است و کارایی بالاتری نسبت به روش‌های سنتی همچون روش وزنی دارد(شی و همکاران ۲۰۰۷)، برای تعیین جواب بهینه مدل استفاده شد. براساس این روش در هر مرحله تمامی اهداف غیر از یک تابع هدف به قسمت محدودیت‌ها منتقل می‌شوند و برای هر یک از اهداف یک حداقل مقدار قابل قبول تحت عنوان ε تعیین می‌گردد، رابطه [۱۰]

سپس به ازای مقادیر مختلف ε مدل ریاضی مسأله با تابع هدف اصلی مسأله و در نظر گرفتن قیود اصلی مسأله حل شده و مرزهای پارتو ایجاد می‌گردد. به‌طور خلاصه روش محدودیت اپسیلون داری گام‌های زیر است.

۱) یکی از توابع هدف مسأله به عنوان تابع هدف اصلی مسأله انتخاب می گردد.
۲) هر بار مسأله با در نظر گرفتن فقط یکی از توابع هدف فرعی حل، و مقدار بهینه هر تابع هدف به‌دست می‌آید.
۳) کمترین و بیشترین مقدار هر تابع هدف فرعی که در حل مسأله به ازای توابع هدف مختلف ایجاد شده تعیین می‌گردد.
۴) بازه بین مقدار کمترین و بیشترین مقدار تعیین شده برای هر یک از اهداف فرعی مسأله به تعدادی، فاصله ی یکسان از قبل مشخص، تقسیم می‌شود و هر یک از این مقادیر به ترتیب توابع هدف فرعی مسأله $\varepsilon_2, \varepsilon_1 \ldots,$ نامیده می‌شود.
۵) هر بار مسأله را با تابع هدف اصلی در شرایطی که توابع هدف فرعی در محدودیت‌ها به مقادیر $\varepsilon_1 \ldots, \varepsilon_2$, محدود شده‌اند حل خواهد شد.
۶) نهایتا جواب‌های پارتویی یافت شده گزارش خواهند شد.

قالب مساله بهینه‌سازی چندهدفه به روش محدودیت اپسیلون به صورت زیر می‌باشد(شفیع خانی و همکاران، ۲۰۲۰).

$$\min(f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x) \ldots.)$$
$$\text{s.t:}$$
$$x \in X$$

در رابطه ۱۰، $f_i(x)$ مقادیر توابع هدف مساله هستند. در این مطالعه $f_1(x)$ $f_2(x)$ و$f_3(x)$ به ترتیب تابع هدف اول(حداکثر سازی سود)، دوم(حداقل سازی مصرف آب) و هدف سوم (حداقل‌سازی انتشارگاز گلخانه‌ای ناشی از مصرف کود شیمیایی و مصرف انرژی فسیلی) می‌باشند. در تحقیق حاضر، سود زارعین از کشت ارقام برنج به‌عنوان هدف اقتصادی حداکثر می‌شود و تابع هدف مصرف آب و محیط‌زیستی انتشار به‌عنوان محدودیت با مقادیر سمت راست اپسیلون لحاظ شده است. دامنه بین دو مقدار حداکثر و حداقل تابع هدف

[4] Epsilon Constraint Method

مصرف آب و انتشار گاز گلخانه‌ای برای بدست آوردن ارزش‌های اپسیلون، به ده نقطه تقسیم خواهد شد. الگوی بهینه با هدف حداکثرسازی سود زارعین با در نظر گرفتن مقادیر مختلف ارزش اپسیلون، حل و نقاط پارتو به دست خواهد آمد. با توجه به مجموعه جواب‌های پارتو بدست آمده از روش حل مدل چندهدفه، جهت ارزیابی و دستیابی به یک راه‌حل که منجر به مدیریت پایدار منابع آب و انرژی در منطقه مورد مطالعه می‌شود، شاخص‌هایی که به درستی پیوند بین این منابع را منعکس کنند، جهت تصمیم‌گیری انتخاب خواهند شد. ازاینرو، در این پژوهش، شاخص سود اقتصادی و شاخص زیست-محیطی (شاخص آب مصرفی و شاخص انتشار) مورداستفاده قرار گرفت. این شاخص‌ها معادل با مقادیر توابع هدف مطالعه می‌باشد. نهایتاً از روش حداکثر حداقل‌ها [5] برای انتخاب بهترین بهترین جواب از میان مجموعه پارتو بر اساس شاخص‌های مطالعه استفاده خواهد شد که توسط جوانا و همکاران(۲۰۱۲) ارائه شده است. روش حداکثر حداقل‌ها یک روش ساده و آسان برای رتبه‌بندی گزینه‌های موجود براساس معیارهای گوناگون می‌باشد. این روش شامل مراحل زیر است:

$$X_{j,Min} = \frac{x_j - Min(x_j)}{Max(x_j) - Min(x_j)}$$ رابطه [۱۱]

$$X_{j,Max} = \frac{Max(x_j) - x_j}{Max(x_j) - Min(x_j)}$$ رابطه [۱۲]

✓ ساختن ماتریس تصمیم

در این مرحله لازم است یک ماتریس تصمیم متناسب با مسئله تحقیق ساخته شود که به‌صورت زیر قابل تعریف می‌باشد.

$$D = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{1j} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{12} & f_{1j} & \cdots & f_{2n} \\ f_{i1} & f_{i2} & f_{1j} & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

که در آن n نشاندهنده تعداد شاخص هاو m راه حل‌های پارتو می‌باشد. f_{mn} ارزش هر یک از شاخص‌ها برشمرده شده راه‌حل‌های پارتو می‌باشد. در این مطالعه سه شاخص اقتصادی و زیست‌محیطی (کاهش مصرف آب و کاهش انتشار ناشی از مصرف کود شیمیایی و سوخت فسیلی) و ده راه‌حل پارتو خواهیم داشت.

✓ محاسبه ماتریس نرمال شده ماتریس تصمیم

به‌دلیل آنکه احتمال قوی وجود دارد، مقادیر کمی تعلق گرفته به معیارها و شاخص‌ها، دارای یک واحد نباشد، بایستی ابعاد و واحد آنها را از بین برده و این مقادیر کمی را به ارقام بی‌بعد تبدیل نمود. این عمل با استفاده از روابط (۱۱ و ۱۲) صورت می‌گیرد. رابطه (۱۱) زمانی استفاده می‌شود که نرمال حداقل مقدار، شاخص مورد بررسی باشد، و برای شاخص‌هایی که حداکثر مقدار آنها مطلوب هستند از رابطه (۱۲) برای نرمال‌سازی استفاده می‌شود:

مقدار X_i، نرمال شده شاخص‌های مطالعه می‌باشد. x_j مقدار واقعی (غیر نرمال شده) شاخص‌های مطالعه معرفی شده است. $Max(x_j)$ و $Min(x_j)$ حداکثر و حداقل مقدار واقعی شاخص‌های تحقیق می‌باشند.

✓ رتبه‌بندی راه‌حل‌ها

بر اساس روش حداکثر حداقل ابتدا در هر سطر حداقل مقدار نرمال شده مشخص خواهد شد سپس از بین حداقل‌ها، مقدار حداکثر مشخص می‌شود. در واقع راه حلی که دارای بالاترین ارزش باشد، به‌عنوان بهترین راه‌حل انتخاب می‌شود.

جامعه آماری پژوهش حاضر، زارعین منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل می‌باشند. داده‌های مربوط به بخش زراعی از اداره جهاد کشاورزی منطقه، در سال ۱۴۰۰ جمع‌آوری شد. اطلاعات فنی و اقتصادی نیز از دفتر برنامه‌ریزی وزارت نیرو، سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر کشور (ساتبا)، در سال ۱۴۰۰ تأمین شده است. همچنین از نرم‌افزار Matlab جهت برآورد نتایج مدل چندهدفه با استفاده روش اپسیلون محدودیت، و برای برآورد نتایج بخش حداکثر حداقل‌ها از نرم افزار اکسل استفاده شده است.

[5] Max Min

نتایج و بحث

در این مطالعه مدل چندهدفه با سه هدف حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی مصرف آب و حداقل-سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای (ناشی از مصرف کود شیمیایی و مصرف سوخت فسیلی) مشروط به محدودیت‌های جریان انرژی، آب، کود، سرمایه و زمین، تخمین زده شد و الگوی بهینه کشت و ترکیب بهینه مصرف انرژی بدست آمد. در این راستا در مرحله اول، مجموعه‌ی نقاط بهینه پارتو (ماتریس تاوان[۶])، با لحاظ سه هدف مذکور محاسبه گردید. برای محاسبه راه‌حل‌های پارتو، در ابتدا حداقل و حداکثر مقادیر توابع هدف محاسبه شدند که در جدول ۲ قابل مشاهده می-باشد.

جدول۲- حداکثر و حداقل اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی

	هدف حاکثرسازی سود زارعین (m Rial)	هدف کاهش مصرف آب (m^3)	هدف کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای (kg CO2)
حداکثر مقدار	۵۸۸/۷۶	۱۵۱۲۰	۱۸۶۰
حداقل مقدار	۵۶۶/۵۶	۱۲۰۶۰	۱۳۵۴

مأخذ:یافته‌های تحقیق

در گام بعدی، از روش اپسیلون محدودیت برای حل الگوی چندهدفه و تولید نقاط بهینه پارتو استفاده شد. در این روش، سود زارعین از کشت ارقام برنج به‌عنوان هدف اقتصادی حداکثر می‌شود و تابع هدف مصرف آب و محیط‌زیستی انتشار به‌عنوان محدودیت با مقادیر سمت راست اپسیلون لحاظ شده‌اند. ماتریس Pay-off بین اهداف اقتصادی (سود)، محیط‌زیستی (مصرف آب و انتشارگاز گلخانه‌ای) در جدول (۳) ارائه شد.

جدول ۳- ماتریس Pay-off هدف اقتصادی، مصرف آب و محیط‌زیستی به ازای هر راه‌حل

راه‌حل	هدف حاکثرسازی سود زارعین (m Rial)	هدف کاهش مصرف آب (m^3)	هدف کاهش انتشار گاز گلخانه-ای (CO2 kg)
A1	۵۶۶,۵۶	۱۲۰۶۰	۱۳۵۴
A2	۵۷۱,۰۰	۱۲۴۰۰	۱۴۱۰
A3	۵۷۳,۵۴	۱۲۷۴۰	۱۴۶۶
A4	۵۷۴,۸۱	۱۳۰۸۰	۱۵۲۲
A5	۵۷۷,۳۵	۱۳۴۲۰	۱۵۷۹
A6	۵۷۸,۶۲	۱۳۷۶۰	۱۶۳۵
A7	۵۸۱,۱۵	۱۴۱۰۰	۱۶۹۱
A8	۵۸۳,۶۹	۱۴۴۴۰	۱۷۴۷
A9	۵۸۶,۲۳	۱۴۷۸۰	۱۸۰۴
A10	۵۸۸,۷۶	۱۵۱۲۰	۱۸۶۰

مأخذ:یافته‌های تحقیق

[6] . Pay-off Matrix

در ادامه جهت انتخاب بهترین جواب از میان راه‌حل-های پارتو، با توجه به اینکه، اهداف مطالعه حاضر، با یکدیگر همسو نیستند از روش رتبه‌بندی حداکثر حداقل‌ها استفاده شد. همانگونه که در جدول ۳ ملاحظه شد مقدار هریک از شاخص‌ها در هریک از راه‌حل‌های پارتو نشان داده شده است که مجموع این شاخص‌ها ماتریس تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین راه‌حل را ارائه می‌دهد. نتایج نرمال‌سازی شاخص‌ها در روش حداکثر حداقل‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. برای انتخاب بهترین جواب، ابتدا در هر راه‌حل، کمترین مقدار انتخاب می‌شود و در مرحله بعد از مقادیر انتخاب شده راه‌حلی که دارای بیشترین ارزش باشد به عنوان جواب بهینه مسئله درنظر گرفته می‌شود، که در ستون آخرجدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴- ماتریس تصمیم نرمال و رتبه بندی

راه‌حل	هدف حاکثرسازی سود زارعین (m Rial)	هدف کاهش مصرف آب (m^3)	هدف کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای (CO2 kg)	رتبه‌بندی راه‌حل‌ها
A1	۱	۰	۰	۰
A2	۰/۸	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱
A3	۰/۶۸	۰/۲۲۲	۰/۲۲۲	۰/۲۲۲
A4	۰/۶۲	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳
A5	۰/۵۱	۰/۴۴۴	۰/۴۴۴	۰/۴۴۴
A6	۰/۴۵	۰/۵۵۵	۰/۵۵۵	۰/۴۵
A7	۰/۳۴	۰/۶۶۶	۰/۶۶۶	۰/۳۴
A8	۰/۲۲	۰/۷۷۷	۰/۷۷۷	۰/۲۲
A9	۰/۱۱	۰/۸۸۸	۰/۸۸۸	۰/۱۱
A10	۰	۱	۱	۰

مأخذ:یافته‌های تحقیق

بر اساس نتایج جدول ۴، راه‌حل A6 دارای بالاترین مقدار در مقایسه با سایر راه‌حل‌ها می‌باشد. ازاین‌رو، راه‌حل A6 به‌عنوان بهترین راه‌حل از بین ده راه‌حل پارتو انتخاب می‌شود. نتیجه بهینه‌سازی الگوی کشت ارقام برنج و سبد بهینه مصرف انرژی تجدیدپذیر و انرژی فسیلی در بهترین راه حل انتخاب شده پارتو در جدول ۵ قابل مشاهده است.

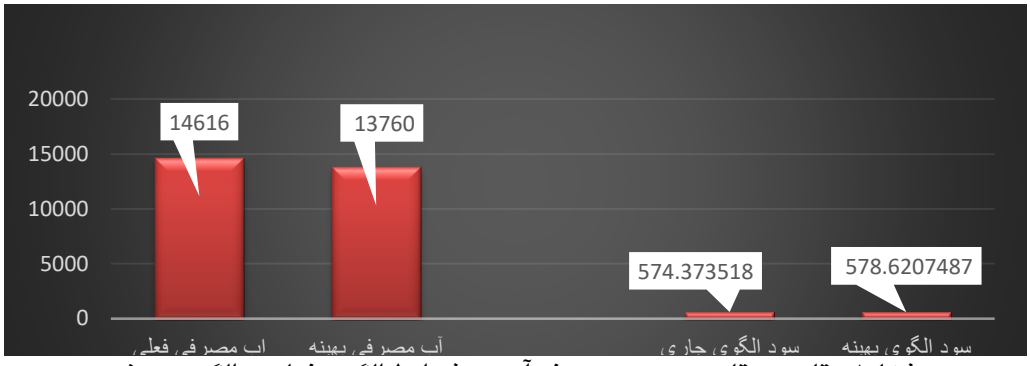
جدول ۵-تعیین سبد مصرف انرژی و الگوی بهینه ارقام برنج

	الگوی بهینه کشت و انرژی	الگوی فعلی	درصد تغییرات
برنج طارم (هکتار)	۰/۵۶	۰/۴۷	+۰/۱۹
برنج شیرودی (هکتار)	۰/۴۴	۰/۵۳	−۰/۱۶
ظرفیت تولید انرژی خورشیدی پنل (کیلووات)	۰/۸۳	۰	
میزان تولید انرژی خورشیدی پنل(کیلووات ساعت)	۵۰۰	۰	
ظرفیت تولید انرژی فسیلی (کیلووات)	۱/۳۴	۱/۴۸	
میزان تولید انرژی سوخت فسیلی(کیلووات ساعت)	۲۷۱۷	۳۳۶۶	−۰/۱۹
هدف حداکثر سود (میلیون ریال)	۵۷۸,۶۲	۵۷۴/۳۴	+۰/۰۰۷
هدف حداقل مصرف آب(مترمکعب)	۱۳۷۶۰	۱۴۶۱۶	−۰/۰۵
هدف حداقل انتشار گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرمco2)	۱۶۳۵	۱۸۱۰	−۰/۰۹

مأخذ:یافته‌های تحقیق

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، در شرایط فعلی استفاده از آب و کودهای شیمیایی و سوخت فسیلی برای پمپاژ آب در زراعت یک هکتارارقام مختلف برنج، ۰/۵۳ هکتار رقم شیرودی و ۰/۴۷ هکتار رقم طارم کشت می‌شود و برای کشت آن‌ها حدود ۳۳۶۶ کیلووات ساعت انرژی (معادل ۲۵۰ لیتر سوخت فسیلی) به کار گرفته می‌شود و زراعت ارقام برنج متکی بر انرژی تجدیدناپذیر می‌باشد. با توجه به اینکه برنج شیرودی کود شیمیایی، آب و در نتیجه انرژی بیشتری نسبت به رقم طارم مصرف می‌کنند، می‌توان بیان کرد کشاورزان منطقه در شرایط فعلی (اتکای صرف به انرژی تجدیدناپذیر در پمپاژ آب آبیاری و عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر)، درزراعت منطقه و تولید ارقام برنج، بیشتر به سود (هدف اقتصادی) توجه داشته‌اند و کمتر به پایداری محیطزیستی توجه دارند.

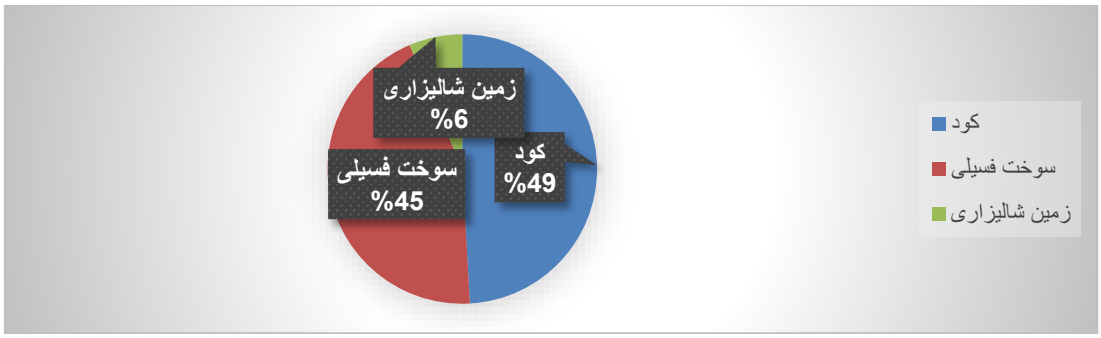
نتایج جدول ۵ سبد بهینه مصرف انرژی را به صورت به‌کارگیری ترکیب انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در پمپاژ آب آبیاری نشان می‌دهد. بر طبق نتایج، از۳۲۱۷کیلووات ساعت مجموع انرژی تولید شده، ۸۴ درصد آن را انرژی فسیلی و ۱۶ درصدآن را، انرژی خورشیدی به‌خود اختصاص دادند. طبق الگوی بهینه و محاسبات انجام‌شده براساس رابطه ۳، برای تأمین ۱۶ درصد (۵۰۰ کیلووات ساعت) برق خورشیدی موردنیاز سیستم آبیاری به‌منظور آبیاری یک هکتار، پنل خورشیدی با ظرفیت ۰/۸۳ کیلووات موردنیاز خواهد بود لازم به توضیح است که، ۵۰۰ کیلووات ساعت انرژی تولیدی توسط پنل در مواقع استفاده از پمپ مستقیماً مصرف می‌گردد، و در شرایطی که پمپ خاموش باشد توسط باتری ذخیره می‌شود، و در مواقع لزوم به سیستم پمپ منتقل می‌کند. با بررسی ستون مربوط به شرایط بهینه در جدول ۵ پیشنهاد می‌شود، برنج طارم و شیرودی به ترتیب ۰/۵۶و ۰/۴۴ در هکتار کشت شوند. به‌عبارت دیگر با اجرای مدل برنامه‌ریزی چندهدفه، مقادیر سطح کشت ارقام برنج تغییر یافته است، به‌طوری که سطح کشت رقم طارم نسبت به سطح کشت فعلی ۰/۱۹ افزایش و رقم شیرودی حدود ۰/۱۶ درصد کاهش نشان داد. با توجه به اینکه در مطالعه حاضر تعیین الگوی کشت بهینه با تاکید بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف آب و افزایش سود مورد بررسی قرار گرفته است، بنابراین مدل در جهت بهینه نمودن همزمان جواب نهایی سعی بر حداکثرسازی سطح کشت برنج طارم و کاهش نسبی برنج شیرودی داشته است. همانطور که مشاهده می‌شود مطابق با خروجی‌های مدل در شرایط بهینه، با لحاظ توام هدف حداکثرسازی سود و حداقل-سازی هدف زیست‌محیطی (دو هدف کاهش مصرف آب و کاهش گازهای گلخانه‌ای در اثر مصرف کود شیمیایی و سوخت فسیلی)، بخش عمده زمین‌های تحت کشت برنج (۰/۵۶ در هکتار) از یک هکتار زمین تحت کشت، به برنج رقم مرغوب (طارم) اختصاص می‌یابد. کاهش سطح کشت رقم شیرودی بیشتر از کاهش سطح کشت رقم طارم است. برنج شیرودی جزء ارقام پرمحصول می-باشد، که به کود شیمیایی و پمپاژ آب در نتیجه سوخت بیشتر نیاز دارد(میزان آب مصرفی اراضی شالیزاری به ازای هر هکتار به طور میانگین در ارقام مرغوب(محلی طارم) هشت تا نه هزار مترمکعب است و همچنین برنج مرغوب ۲۵۰-۳۰۰ کیلوگرم در هر هکتار و برنج پرمحصول ۶۰۰-۷۰۰ کیلوگرم در هر هکتار کود مصرف می‌کنند). بنابراین وقتی مدل حداکثرسازی سود و کاهش انتشار و کاهش مصرف آب مدنظر باشد، طبیعی است که سطح کشت شیرودی بیشتر از سطح کشت رقم طارم کاهش یابد. اما به دلیل اینکه در پمپاژ آب آبیاری، انرژی خورشیدی جایگزین سوخت فسیلی شده است، درصد کاهش سطح کشت رقم شیرودی نسبت به رقم طارم چندان چشمگیر نیست و به نوعی مدل علاوه بر حفاظت انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش مصرف آب، سود-آوری زارعین منطقه را نیز مورد توجه قرار داده است. لذا حفظ این رقم در الگوی کشت حتی با وجود تأکید بر کاهش مصرف انرژی و آب، منطقی به‌نظر می‌رسد. شکل ۱ مقادیر سود زارعین و آب مصرفی را در شرایط فعلی و بهینه نشان می‌دهد.



شکل ۱-مقایسه مقادیر سود و مصرف آب در شرایط الگوی فعلی و الگوی بهینه

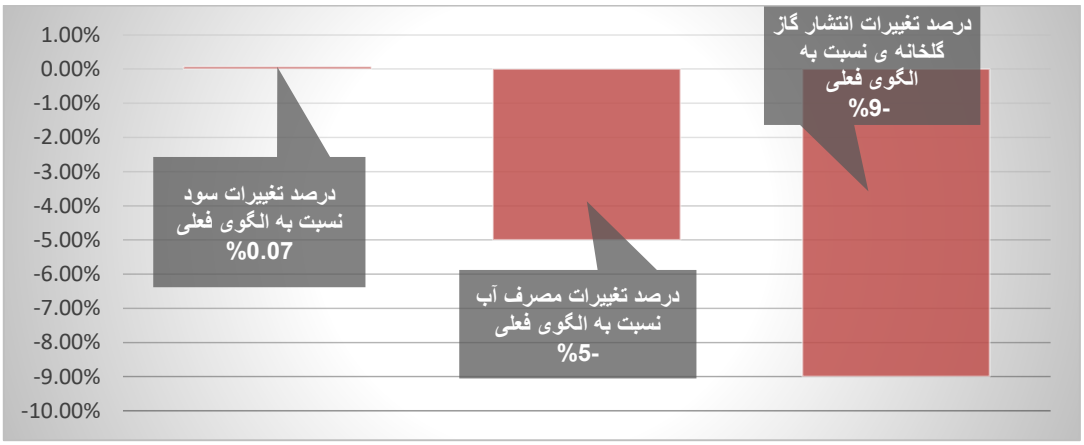
از مزایای انتخاب الگوی پیشنهادی افزایش درآمد و کاهش مصرف آب خواهد بود. همانطور که از شکل ۱ مشاهده می‌شود در وضعیت بهینه هدف حداکثر سود اقتصادی بیان می‌کند، که به ازای کشت ۰/۵۶و ۰/۴۴ در هکتار برنج طارم و شیرودی سود زارعین منطقه به‌ازای هر هکتار از۵۷۴/۳۴ به ۵۷۸,۶۲ میلیون ریال نسبت به وضعیت فعلی در کل فصل زراعی، افزایش می‌یابد. یعنی در شرایط فعلی، زارعین تنها با شیوه‌ی سنتی و بدون توجه به‌میزان مصرف نهادها و هزینه‌های تولید، محصولات را کشت می‌کنند، که این مورد سبب کاهش سود آنها می‌گردد. همچنین مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن همزمان اهداف علاوه بر بهبود هدف اقتصادی، هدف کاهش مصرف آب نیز بهبود خواهد یافت، بطوریکه با اجرای الگوی پیشنهادی مصرف آب از۱۴۶۱۶ مترمکعب در هکتار به ۱۳۷۶۰مترمکعب در هکتار، در کل فصل زراعی کاهش می‌یابد.

در ادامه نتایج جدول ۵ مشاهده می‌شود، الگوی بهینه به‌ازای کشت ۰/۵۶ در هکتار برنج طارم و ۰/۴۴ در هکتار شیرودی، حدود ۱۶۳۵کیلوگرم معادل CO_2، آلودگی ناشی از مصرف کود شیمیایی، زمین شالیزاری و مصرف سوخت فسیلی منتشر خواهد شد. در صورتیکه مقدار انتشار در شرایط فعلی منطقه (عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر) زمانیکه تنها با سوخت فسیلی مزارع برنج آبیاری می‌شود، ۱۸۱۰ کیلوگرم معادلco_2 ناشی از مصرف کود شیمیایی، زمین شالیزاری و مصرف سوخت فسیلی منتشر شده است. در واقع می‌توان نتیجه گرفت، با اصلاح الگوی کشت و تغییر ترکیب کشت ارقام برنج (با توجه به مصرف پایین‌تر نهاده‌های تولید در رقم طارم) ۰/۱۹ درصد میزان مصرف انرژی فسیلی کاهش و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در مجموع به میزان ۰/۰۹ درصد کاهش خواهد یافت.سهم هریک از نهاده‌های ورودی در انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق ضرب مقدار نهاده‌های مصرفی در ضریب‌های انتشار مربوط به نهاده‌ها و سطح کشت ارقام برنج تعیین شد که در شکل ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط بهینه به تفکیک نهاده‌ها

همانگونه که در شکل ۲ مشاهده شد، انتشارگازهای گلخانه‌ای ایجاد شده توسط مصرف کود شیمیایی به مراتب بالاتر از فعالیت‌های دیگر مورد بررسی مطالعه می‌باشد. انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف کود شیمیایی با میانگین ۷۵۰ کیلوگرم Co2 در هکتار معادل۴۹ درصد، بدست آمده است. به عبارتی دیگر به‌ازای کشت ۰/۵۶ هکتار برنج طارم و ۰/۴۴ هکتار شیرودی، با مصرف مقدار مشخصی کود شیمیایی، ۷۵۰ کیلوگرم Co_2 در هکتار منتشر خواهد شد. همانطور که از شکل ۳ مشاهده می‌شود، بعد از کود شیمیایی، بیشترین سهم انتشارگاز گلخانه‌ای مربوط به سوخت می‌باشد. میزان انتشار دی‌اکسید کربن ناشی سوخت مصرفی برای پمپاژ آب آبیاری با میانگین ۶۸۰ کیلوگرم Co_2 در هکتار، تعیین گردید که معادل ۴۵ درصد از کل انتشار را بخود اختصاص داده است. انتشار زمین‌های شالیزاری با میانگین ۱۰۰ کیلوگرم Co2 در هکتار معادل ۶ درصد از کل انتشار گاز گلخانه‌ای در پژوهش حاضر، در رتبه آخر قرار گرفت. در ادامه میزان تغییرات هر یک از اهداف مطالعه در شکل ۳ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل۳-مقایسه تغییرات اهداف مطالعه در شرایط الگوی فعلی و الگوی بهینه

شکل ۳ مقایسه هدف اقتصادی و دو هدف محیطزیستی مطالعه شامل کاهش مصرف آب و کاهش انتشار ناشی از مصرف کود شیمیایی و سوخت فسیلی در شرایط فعلی نسبت به شرایط بهینه را نشان می‌دهد. با بررسی نتایج شکل ۳ مشاهده می‌شود حالت بهینه (لحاظ انرژی تجدیدپذیر) از نظر دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار نسبت به الگوی فعلی منطقه، دارای برتری می‌باشد. همانطور که از شکل ۳ مشاهده می‌شود، در صورتی‌که طبق الگوی پیشنهادی ۰/۱۹ درصد به کشت برنج طارم افزوده و ۰/۱۶ از کشت برنج شیرودی کاسته شود، می‌توان سود زارع را ۰/۱۴ درصد بهبود بخشید. که این بیان می‌کند تنها باید انتخاب درست میزان سطح زیرکشت نوع رقم و استفاده از سیستم ترکیبی آبیاری سود زارعین به مقدار ۰/۱۴ درصد بیشتر خواهد شد. همچنین مشاهده می‌شود، هدف حداقل‌سازی مصرف آب ۰/۰۵- درصد نسبت به الگوی فعلی کاهش یافت و منطقه را از شرایط کمبود آب خارج نموده است. 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، نتیجه خواهد داد. دربخش اخر نتایج مشاهده می‌شود همزمان با بهبود وضعیت سود و صرفه‌جویی در مصرف آب،۰/۰۹ درصد میزان انتشار ناشی از مصرف سوخت فسیلی و مصرف کود شیمیایی در شرایط بهینه کاهش خواهد یافت. به عبارتی با در نظر گرفتن همزمان توابع موردنظر کشاورزی پایدار، علاوه

بر تامین سودآوری مناسب زارعین، بیشترین صرفه-جویی در مصرف آب و انرژی اتفاق خواهد افتاد. با توجه به اینکه مقادیر صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش مصرف آب زیرزمینی در مقایسه با تغییر سود زارعین منطقه قابل توجه است، بنابراین انتخاب الگوی پیشنهادی از نظر اقتصادی و محیط‌زیستی مقرون به‌صرفه و در راستای توسعه پایدار است.

نتیجه‌گیری

افزایش جمعیت منجر به زیاد شدن تقاضا برای محصولات کشاورزی شده و کمبود منابع تولید باعث شده است تا بهینه‌سازی مصرف منابع، اهمیت زیادی پیدا کند. به‌دلیل درک ضرورت حفظ منابع طبیعی و نیز عواقب ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی در کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا، در مطالعه حاضر سعی شد منافع زارعین با در نظر گرفتن حداکثر سود زراعی با تکیه بر استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در سبد انرژی‌های مصرفی بخش کشاورزی (با کاهش میزان مصرف سوخت منابع انرژی فسیلی مورد استفاده)، با هدف مدیریت منابع آب وانرژی، در قالب تعیین الگوی کشت بهینه محاسبه و با شرایط فعلی مقایسه شود. نتایج مطالعه نشان داد که با لحاظ اهداف سه گانه اقتصادی-محیط زیستی، رقم طارم بیشترین سطح کشت را به‌خود اختصاص داده (رقم طارم ۱۹درصدافزایش و رقم شیرودی ۱۶درصد کاهش) که این امر می‌تواند سود بیشتر، مصرف آب کمتر و آلایندگی کمتری را به لحاظ مصرف کود شیمیایی و سوخت فسیلی در پمپاژ آب آبیاری مقایسه با رقم شیرودی را نتیجه دهد و به طور همزمان به نحو شایسته‌تری به هردو هدف اقتصادی و محیط زیستی به طور توامان توجه گردد. مطابق با نتایج این تحقیق با اجرای الگوی پیشنهادی، سود زارعین منطقه به‌ازای هر هکتار از از۵۷۴/۳۴ به ۵۷۸,۶۲ میلیون ریال (۰/۰۷ درصد افزایش) نسبت به وضعیت فعلی در الگوی جاری، افزایش می‌یابد. نتیجه مطالعه پرورش‌ریزی و اشرف‌زاده (۲۰۱۸) با هدف تحلیل فنی- اقتصادی آبیاری خورشیدی (مقایسه با منابع متداول انرژی در آبیاری)، نشان داد استفاده از ترکیب انرژی فسیلی و خورشیدی سود را افزایش می‌دهد با نتیجه مطالعه همخوانی دارد. سبد بهینه مصرف انرژی به‌صورت ترکیب به‌کارگیری انرژی خورشیدی و انرژی فسیلی، ۳۲۱۷ کیلووات ساعت به‌دست آمد، که از این مقدار، ۸۴ درصد به انرژی فسیلی و ۱۶ درصد به انرژی خورشیدی اختصاص دارد. همچنین، در شرایط بهینه برای آبیاری ۰/۵۶ در هکتار برنج طارم، ۰/۴۴ در هکتار برنج شیرودی، ۱۳۷۶۰ مترمکعب بر هکتار آب استخراج شده است، که نسبت به حالت فعلی ۰/۰۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد، که با مطالعه گنجی و همکاران (۲۰۱۹) مطاقبت دارد. در بخش دیگر نتایج، با انتخاب سیستم پمپ ترکیبی فسیلی-خورشیدی و همچنین افزایش ۱۹درصدی سطح کشت طارم و کاهش ۱۶درصدی سطح کشت شیرودی نسبت به الگوی فعلی منطقه در شرایط عدم استفاده از انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان منبع سوخت آبیاری، ۰/۰۹ درصد از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و ۰/۰۴ درصد در میزان مصرف کل انرژی صرفه‌جویی خواهد شد، با مطالعه وود و کوویی (۲۰۰۴) مبنی بر کاهش در میزان مصرف سوخت‌های فسیلی باعث تقلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، مطالبقت دارد. همچنین، در تحقیق حاضر مهم-ترین عامل تولید انتشار گازهای گلخانه‌ای کود شیمیایی و سپس سوخت فسیلی می‌باشد، که با مطالعه دکامین و همکاران (۲۰۱۹)، مبنی برعامل اصلی ایجاد انتشار گازهای گلخانه‌ای کود شیمیایی و سوخت‌های فسیلی می‌باشند، هم راستا می‌باشد.

بنابراین با توجه به اولویت اهداف مطالعه کشت ارقام برنج در منطقه، توصیه می‌شود، کشت‌های با مصرف آب بالا، بازده اقتصادی پائین و مصرف کود شیمیایی و انرژی زیاد بایستی مقدار کمتری را به آن‌ها اختصاص داد. این عمل از یک سو باعث کاهش مصرف و استحصال آب شده و از سویی متضمن منافع اقتصادی بالا برای بهره‌برداران کشاورزی می‌باشد. همچنین با توجه به روند کنونی استفاده از انرژی های فسیلی و ویژگی تجدیدناپذیری آن‌ها و همچنین به دلیل اثرات منفی مصرف این گونه انرژی‌ها بر روی سلامتی انسان و محیط‌زیست، ضرورت استفاده از انرژی‌های نو و

تجدیدپذیر در بخش کشاورزی کشور اجتناب‌ناپذیر به‌نظر می‌رسد. به‌همین منظور، پیشنهاد می‌شود سیاست گزاران کشاورزی از طریق ترویج استفاده انرژی خورشیدی در آبیاری و استفاده از این ظرفیت بزرگ در کشور، توجیه کشاورزان نسبت به مزایای بالقوه انرژی خورشیدی (در بخش کشاورزی) و استفاده وسیع از آن، کاهش یارانه‌های فعلی کشاورزی در بخش انرژی فسیلی و تعلق یارانه به انرژی خورشیدی، تشویق بخش خصوصی به سرمایه‌گذاری در پروژه‌های خورشیدی به تأمین انرژی طرح‌های آبیاری کمک نمایند.

سپاسگزاری

با کمال احترام بدینوسیله از تمام کسانی که در انجام این پژوهش یاریگر بنده بودند، نهایت قدردانی و سپاسگزاری را دارم و از خداوند متعال آرزوی سربلندی و سلامتی برایشان دارم.

منابع مورد استفاده

Adama G, Jimoh D and Otache M. 2020. Optimization of Irrigation Water Allocation Framework Based on Genetic Algorithm Approach. Journal of Water Resource and Protection, 12: 316-329.

Agriculture Jahad of babol city, 2021.

Alam M, Bell R and Biswas W. 2019. Increases in soil sequestered carbon under conservation agriculture cropping decrease the estimated greenhouse gas emissions of wetland rice using life cycle assessment. Journal of Cleaner Production, 224:72-87.

Bartzas G and Komnitsas K. 2018. Energy flow analysis in agriculture; the case of irrigated pistachio production in Greece. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2:73-80.

Dekamik M Barmaki M Kanoni A and Mosavi meshkini R, 2019. Evaluation of environmental effects of soybean crop in Ardabil fields. Environmental science and technology, 21st period, 21(87): 175-184. (In Persian).

Dastan S, Soltani A, Noor Mohammadi G.H and Madani H. 2013. Global warming potential of carbon dioxide emissions and energy consumption in the paddy planting. Journal of Agricultural Ecology, 6(4) 823-835. (In Persian).

Elhami B Akram A and Khanali M. 2015. Optimization of energy consumption and reduction of greenhouse gas emissions in the production of blue lentils using data envelopment analysis method. Iran Biosystem Engineering, 47(4):701-710. (In Persian).

Hlpe B. 2015. Water for Food Security and Nutrition. A Report by the HighLevel Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome 2015.

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).

Ghasempour R, Sabzemeydani A, Montazeri M and Yousefi H. 2022. Techno-economic analysis of hybrid Systems to Reduce Carbon Emission of Greenhouses in Tehran province. Urban Economics and planning, 3(2): 154-163. (in Persian).

Karimzadeh M, Alizadeh A, Ansari H, Ghorbani M and Banayan M. 2016. Optimizing Water Productivity and Energy Efficiency in Selecting Crop Pattern. Iran Journal of Irrigation and Drainage, 6(9): 849-859. (In Persian).

Keramatzade A, Chizari A and Sharzei Gh. 2011. The role of the water market in determining the economic value of agricultural water with the approach of mathematical programming, a case study of the downstream lands of the Shirin Dare dam. Economic Research and Agricultural Development, 42(2): 29-44. (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).

Mandal S, Das BK and Hoque N. 2018. Optimum sizing of a standalone hybrid energy system for rural electrification in Bangladesh. Journal of Cleaner Production. 200: 12-27.

Medina A, Flores F, Cardenas l and Fuentes l. 2020. Optimal design of the water-energy-food nexus for rural communities. Computers and Chemical Engineering, 143: 107-120.

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. (In Persian)

Monem M, Delavar M, Hosseini and S.M. 2020. Application and Evaluation of Water, Food and Energy (NEXUS) in Irrigation Networks Management: Case Study of Zayandehrud Irrigation Network. Iran Journal of Irrigation and Drainage, 1(14): 275-285. (In Persian).

Nasiri-Gheidari O and Marofi S. 2016. A Multi-Objective Bargaining and Fuzzy Programming Approaches for Optimal Water Allocation with Emphasis on Deficit Irrigation. Journal of Water and Soil, 31(2): 434-448. (In Persian).

Omrani A. 2013. Implementation of the cultivation model is an opportunity to address sustainable development and food security. Agricultural Jihad of Sari city. (In Persian).

Parvareshrizi A and Ashrafzadeh A, 2018. Technical-economic analysis of solar irrigation: Comparison with Conventional Energy Sources in Irrigation. Journal of Energy Policy and Planning Research, 4(11):201-228. (In Persian).

Sahmohamadi A, Mafakheri S, Veisi H and Khoshbakht K. 2017. An approach to achieve sustainable development of the water, food and energy nexus. Network of public policy studies, Political Research Findings, 2433. (In Persian).

Shafikhani M, Hesami M and Homaii O. 2020. A new bi-level multi-objective model for market clearing in the presence of strategic producers using augmented ε-constraint method. Iranian Electrical and Electronics Engineering Journal (Iranian Electrical and Electronics Engineers Association), 17(2):161-173. (In Persian).

Shirshahi F, Babazadeh H, Ebrahimipak N and Khaledian M. 2021. Optimization of Water Allocation and Optimal Cropping Pattern in Irrigation and Drainage Network of Ghazvin Plain. Irrigation Sciences and Engineering (JISE), 44(3): 103-116. (In Persian).

Taghinazhad J, Vahedi A and Ranjbar F. 2019. E assessment of energy consumption and greenhouse gas emissions from wheat ductionpro in Ardabil Provience. Journal of Environmental Sciences, 17(3):137-150. (In Persian).

Yousefi Z, Vahedi A and Askari-Bozayeh F. 2021. Energy Consumption Analysis and Environmental Impact Evaluation of Rice Production by Life Cycle Assessment (LCA) in Guilan Province. Agricultural Mechanization and Systems Research, 22(78): 55-72. (In Persian).

Yue G, Zhang F, Wang Y, Zhang X and Guo P. 2020. Fuzzy multi-objective modelling for managing water-food-energy-climate change-land nexus towards sustainability. Journal of Hydrology, 1-47.

Zamani O, Ghaderzade H and Mortazavi A. 2014. Determining the cultivation pattern with an emphasis on optimal energy consumption and sustainable agriculture, "Case study of Saqez city, Kurdistan province". Danesh Kavaruz and Sustainable Production Journal, 1(44): 43-56. (In Persia.)