



Determining the Optimal Cultivation Pattern and Energy Consumption Portfolio Required for Irrigation Water Pumping (Case Study: Arable Lands in North Iran)

Kh. Abdi Rokni¹, S. Shirzadi Laskookalayeh^{2*}, H. Amirnejad³

Received: 30-07-2022

Revised: 16-09-2022

Accepted: 10-01-2023

Available Online: 10-01-2023

How to cite this article:

Abdi Rokni, KH., Shirzadi Laskookalayeh, S., & Amirnejad, H. (2023). Determining the optimal cultivation pattern and energy consumption portfolio required for irrigation water pumping (Case study: arable lands in north Iran). *Journal of Agricultural Economics & Development*, 37(3), 253-269. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jead.2023.77437.1145>

Introduction

The growing importance of energy resources in the formation and growth of economic processes, as well as the need to exploit these resources based on environmental considerations and sustainable economic development, the issue of energy saving as an important issue in all economic infrastructures, including industry. Global warming, declining crop yields, climate change and acid rain are the result of fossil fuel consumption. Hence, in recent years, there has been a growing global emphasis on renewable energy across both developed and developing nations. The primary objective is to decrease reliance on conventional energy sources, mitigate environmental pollution, and attain sustainable energy practices.

Materials and Ways

In the present study, a multi-objective mathematical planning model was designed, in which the optimal crop cultivation model in the southern grove area of Babol city, taking into account the maximum profit from the sale of crops, relying on expanding the use of renewable energy sources in the supply basket Irrigation water and reduction of fossil energy consumption used in irrigation water supply were determined. The objective functions of the study are in the form of two objectives: profit maximization and minimization of greenhouse gas emissions. The amount of profit considered in the present study is equal to the difference between income from crop production and total costs, including irrigation, planting and harvesting costs, seed costs, fertilizers and pesticides, and labor costs. The greenhouse gases considered in this study encompass CO₂, N₂O, and CH₄, with the objective of minimizing their emissions for the determination of an optimal crop pattern. The study endeavors to resolve the proposed nonlinear multi-objective pattern utilizing the constraint epsilon method. Subsequently, employing the energy link indexes (E), the optimal solution is identified among the proposed alternatives through the TOPSIS multi-criteria decision model. The statistical population for this investigation comprises farmers in the southern forest area of Babol city. The analysis of results has been conducted using Matlab, Lingo, and Excel software.

Results and Discussion

In this study, a multi-objective model with objective functions of profit maximization and minimization of greenhouse gas emissions subject to energy, energy flow, water, fertilizer, and capital and land constraints using the method the constraint is resolved and eventually the study decision variables are obtained. In terms of recyclable energy, the model suggests that four types of Tarom rice, Shiroodi rice, soybean, and corn be grown

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Assistant Professor and Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: s.shirzadi@sanru.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jead.2023.77437.1145>

with 0.40, 0.34, 0.14 and 0.12 ha / ha, respectively. As can be seen, in accordance with the outputs of the optimal model in terms of renewable energy, most of the cultivated land is allocated to Tarom and Shiroodi rice. The total amount of energy required in the optimal model in terms of renewable energy was 2518 kWh, of which fossil energy is 79% and solar energy is 21%. According to the calculations made in Equation 3, to provide 21% (518 kWh) of solar electricity required by the irrigation system in order to irrigate one hectare of the proposed model of the optimal model in the study area, a solar panel with a capacity of 0.22 kW will be required. The results of the model show that in terms of renewable energy, with the implementation of the proposed model, the profit of farmers in the region per hectare increases from 14776.21 to 14778.18 million rials compared to the situation of non-renewable energy in the entire growing season. In other words, in the current situation, people cultivate crops regardless of energy consumption and production costs (traditional method of rice production by local farmers), while by choosing the right model, the farmer's economic benefits can be increased by 0.013%. At the same time, it saved a significant amount of fossil energy consumption. The minimum emission target of the model in terms of renewable energy states that for the cultivation of 0.40 hectares of Tarom rice, 0.34 hectares of Shiroodi, 0.14 hectares of soybean and 0.12 hectares of corn, at the rate of 2836 kg equivalent to CO₂ pollution Fertilizers, pesticides and fossil fuel consumption will be released, which is 9% less than the current situation where only fossil fuels are used to irrigate crops.

Conclusion

In the present study, the interests of farmers were considered by considering the maximum profit from the sale of agricultural products by relying on the use of renewable energy sources in the energy basket of the agricultural sector (by reducing the fuel consumption of fossil energy sources used) in determining the cultivation pattern. Optimally calculated and compared with current conditions. The results show that the optimal model in terms of renewable energy, shows a more appropriate achievement of goals than in the absence of renewable energy. To this end, it is suggested that agricultural policy makers, by promoting the use of solar energy in irrigation and the use of this large capacity in the country, justify farmers to the potential benefits of solar energy (in the agricultural sector) and its widespread use, reduce current agricultural subsidies in the energy sector. Fossilization and subsidizing solar energy, encouraging the private sector to invest in solar projects can help power irrigation projects.

Keywords: Fossil energy, Greenhouse gas emissions, Optimal cultivation pattern, Solar energy

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۲۶۹-۲۵۳

تعیین الگوی کشت و سبد بهینه مصرف انرژی مورد نیاز در پمپاژ آب آبیاری (مطالعه موردی: اراضی شمال ایران)

خدیدجه عبدی رکنی^۱ - سمیه شیرزادی لسکوکلایه^{۲*} - حمید امیرنژاد^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

چکیده

محدود بودن منابع انرژی فسیلی و مشکلات ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از آن، ضرورت مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را بر همگان روشن ساخته است. بر همین اساس در تحقیق حاضر سعی شده است، با استفاده از مدل چندهدفه، الگوی کشت بهینه زراعی و سبد بهینه مصرف انرژی در اراضی کشاورزی به گونه‌ای که منافع حاصل از تولید محصولات زراعی کشاورزان با تکیه بر استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و کاهش مصرف سوخت منابع انرژی فسیلی مورد استفاده در سیستم آبیاری، تعیین شود. جامعه آماری پژوهش، زارعین منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل می‌باشند. داده‌های مربوطه از طریق اداره جهاد کشاورزی منطقه و سازمان ساتبا، در سال ۱۴۰۰ به صورت خام جمع‌آوری شد. نتایج مطالعه، در وضعیت ترکیب انرژی تجدیدپذیر با انرژی فسیلی در پمپاژ آب آبیاری، کشت محصولات شالی طارم، شالی شیروودی، سویا، و ذرت به ترتیب با سطح کشت ۰/۴۴، ۰/۳۰، ۰/۱۶ و ۰/۱۰ در هکتار را به عنوان مقادیر بهینه پیشنهاد می‌کند. با اجرای الگوی پیشنهادی، سود زارعین منطقه به ازای هر هکتار از ۵۳۶/۴۹ به ۵۳۸/۴۱ میلیون ریال نسبت به وضعیت عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر در الگوی جاری، افزایش می‌یابد. سبد بهینه مصرف انرژی به صورت ترکیب به کارگیری انرژی خورشیدی و انرژی فسیلی، ۲۶۹۰ کیلووات ساعت به دست آمد، که از این مقدار، ۸۲ درصد به انرژی فسیلی و ۱۸ درصد به انرژی خورشیدی اختصاص دارد. همچنین، براساس نتایج، با انتخاب سیستم پمپ ترکیبی فسیلی-خورشیدی و همچنین کاهش سطح کشت شیروودی و افزایش سطح طارم، سویا و ذرت نسبت به الگوی فعلی منطقه در شرایط عدم استفاده از انرژی تجدیدپذیر به عنوان منبع سوخت آبیاری، ۱۸ درصد از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای صرفه جویی خواهد شد. لذا، تشویق و حمایت دولت از کشاورزان در زمینه استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در تأمین سوخت کشاورزی می‌تواند در کاهش زیان‌های محیط‌زیستی ناشی از کشاورزی نقش به سزایی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت بهینه، انتشار گازهای گلخانه‌ای، انرژی خورشیدی، انرژی فسیلی، شهرستان بابل

مقدمه

می‌کند (Omran, 2013). استفاده بهینه از منابع انرژی یک روش ممکن برای کاهش زیان‌های محیط‌زیستی در تولید مواد غذایی محسوب می‌شود که صرفه جویی مالی، حفظ منابع فسیلی و کاهش آلودگی هوا را به ارمغان می‌آورد (Pormohamad et al., 2008). گرم شدن کره زمین، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی، تغییرات آب و هوایی و باران‌های اسیدی نتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد.

اهمیت روزافزون منابع انرژی در شکل‌گیری و رشد فرآیندهای اقتصادی و همچنین ضرورت بهره‌برداری از این منابع برپایه ملاحظه‌های محیط‌زیستی و توسعه پایدار اقتصادی، موضوع صرفه‌جویی در مصرف انرژی را به عنوان مسأله‌ای مهم در همه زیر ساخت‌های اقتصاد اعم از صنعت، خدمات و کشاورزی جهان مطرح

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، استادیار و استاد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(Email: s.shirzadi@sanru.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

طی چند دهه گذشته محیط‌زیست و حفاظت از آن از مهمترین مسئله‌ای است که جوامع با آن روبرو می‌باشند (Safaei et al., 2019).

بخش کشاورزی نیز به دلیل وسعت زیاد در ایران و جهان، یکی از مهم‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی می‌باشد (Sharifimoghadam et al., 2014). با توجه به گسترش مکانیزاسیون در سال‌های اخیر و گسترش برداشت آب زیرزمینی، بخش کشاورزی اثرات جبران ناپذیری را به انرژی کشور وارد کرده است. برای برقراری تولیدی پایدار در بخش کشاورزی و دستیابی به غذای مناسب، لازم است که اصلاحاتی در تامین نوع انرژی مورد نیاز بخش کشاورزی و میزان به کارگیری انرژی صورت گیرد (Baghrian et al., 2007). به همین دلیل، در سال‌های اخیر کشورهای مختلف اعم از پیشرفته و در حال توسعه، جهت کاهش وابستگی به یک حامل انرژی، کاهش آلودگی محیط‌زیستی و دستیابی به پایداری انرژی، توجه فزاینده‌ای به انرژی تجدیدپذیر داشته‌اند. انرژی تجدیدپذیر عبارت است از هر نوع منبع انرژی که بدون آنکه مخزن تأمین‌کننده آن رو به زوال رود، مورد استفاده قرار گیرد که به طور مستقیم یا غیرمستقیم از انرژی خورشیدی مشتق می‌گردند. انرژی نو شامل انرژی خورشیدی، باد، بیومس، زمین گرمایی و انرژی آبی می‌باشد. از مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر در مقایسه با انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌توان به عدم تولید گازهای آلاینده، قطع وابستگی به سایر کشورها، استهلاک کم و عمر زیاد، عدم نیاز به متخصص بعد از نصب و فرصت توسعه تکنولوژی‌های پایدار اشاره کرد (Faryadi, 2004). در این بین انرژی خورشیدی، باد و آبی بیش از سایر انرژی‌های نو مورد توجه قرار گرفته است. زیرا دریافتی انرژی خورشیدی، بادی و آبی در ایران بالا و تکنولوژی استفاده از آن نیز موجود می‌باشد، به طوری که می‌توان بسیاری از نیازهای کشور را با استفاده از آفتاب و آب تامین کرد (Sharifi et al., 2012). جهت عملیاتی نمودن مناسب مدیریت مصرف انرژی در بخش کشاورزی، تعیین الگوی بهینه مصرف انرژی و الگوی بهینه کشت به عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارها می‌باشد. در این راستا، مدل‌سازی الگوی کشتی که بتواند بطور همزمان به مدیریت مصرف انرژی، کاهش آلودگی محیط‌زیست، حداکثرسازی بازده زارعین توجه نماید، یکی از مهم‌ترین تصمیمات پیش‌روی کشاورزان خواهد بود. ایران نیز به عنوان کشوری که به سمت توسعه گام بر می‌دارد با عمل به این مهم می‌تواند با مشکلات و محدودیت‌ها آسانتر مقابله کند (Karamoz et al., 2006).

در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مطالعات فراوانی انجام گرفته است، الهامی و همکاران (Elhami et al., 2015) بهینه‌سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید عدس آبی استان اصفهان با استفاده از روش تحلیل

پوششی داده‌ها^۱ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد مقادیر کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط واقعی و بهینه در یک هکتار زمین زراعی، به ترتیب، ۹۳۰/۴۵ و ۸۸۲/۱۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن (۵ درصد) کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای محاسبه شدند. نهاده‌های الکتریسیته و سوخت دیزل به ترتیب ۳۷ درصد و ۳۲ درصد از کل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص دادند. صادقی و همکاران (Sadeghi et al., 2017) از مبنای الگوی خود رگرسیون ساختاری^۲ برای تحلیل تأثیر افزایش سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در تولید انرژی الکتریسیته بر روی تولید ناخالص داخلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده نمودند. نتایج حاکی از آن است که بروز شوکی مثبت در مصرف انرژی تجدیدپذیر، منجر به افزایش رشد اقتصادی و کاهش انتشار CO₂ می‌شود. همچنین در این پژوهش توصیه شده است که سهم این نوع انرژی از کل انرژی تولیدی کشور افزایش یابد. میرزایی و همکاران (Mirzaie et al., 2017) 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، به ازای هر هکتار زمین به ترتیب ۴۷ و ۵۷ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش یافته است. پرورش‌ریزی و اشرف‌زاده (Parvashrizi and Ashrafzadeh, 2018) 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^۳ 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 بارانه متعلق به سوخت دیزل کاهش یابد. تقی‌نژاد و همکاران (Taghinazhad et al., 2019) 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 CH₄، N₂O و CO₂ از مزرعه‌های گندم آبی به ترتیب ۵۱۷/۱۴، ۱/۶۵ و ۱۲۷۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار بود. سود خالص حاصل از تولید گندم آبی نیز ۲۳۶۹۱۲۹۹ ریال بود که نشان دهنده توجیه اقتصادی تولید گندم آبی در استان اردبیل بود. خوش نواز (Khoshnavaz, 2019) 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 میلیون متر مکعب در تخصیص آب و افزایش بیش از پنج میلیارد تومان در سود خالص کل الگوی دشت می‌گردد. تحلیل فازی سیستم توسعه

مصرف انرژی، (با استفاده از افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد مصرف انرژی)، و تأثیر آن بر الگوی بهینه کشت در ایران با لحاظ اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی تأکید شده باشد، صورت نگرفته است. بنابراین هدف اصلی در این مطالعه بهینه‌سازی همزمان انرژی مصرفی (کاهش اثرات گلخانه‌ای) و حداکثرسازی سود حاصل از فروش، تولید بهینه محصولات در منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل می‌باشد. عمده محصولات زراعی این منطقه شامل شالی طارم و شیروزی، گندم، سویا، سبزیجات و ذرت می‌باشد. بیش از ۸۰ درصد کشت غالب اراضی محدوده مطالعاتی، شالی می‌باشد. سایر محصولات کشاورزی نسبت به شالیکاری درصد سطح زیرکشت پایینی دارند (Slami et al., 2018). با توجه به فاصله زیاد اراضی زراعی از برق شهری، بخش قابل ملاحظه‌ای از موتور پمپ‌ها، از سوخت فسیلی جهت تامین آب کشاورزی استفاده می‌کنند. همچنین به لحاظ قیمت بالای انرژی فسیلی (بنزین)، کمبود حامل‌های انرژی (نفت) در منطقه و شرایط مناسب جایگزینی و استفاده از انرژی تجدیدپذیر 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 مصرف انرژی در منطقه مذکور و مدیریت تولید محصولات باشد (Agriculture Jihad of babol city, 2021). شهرستان بابل یکی از مناطق عمده تولید شالی در استان مازندران با متوسط سطح زیرکشت حدود ۴۵۷۹۸ هکتار می‌باشد، که شالی در آن به‌صورت نشاکاری و تحت آبیاری غرقابی کشت می‌شود. محصولات ذرت و سویا به لحاظ پایداری کشاورزی منطقه، امنیت غذایی، مشکلات کمتر به‌لحاظ مصرف آب، می‌توانند جایگزین مناسبی برای محصول شالی باشند. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه جزو مناطق مستعد کشور در تولید این محصولات می‌باشد، توسعه سطح کشت این محصولات می‌تواند به‌عنوان راهکاری تعیین‌کننده در نظر گرفته شود (Agriculture Jihad of babol city, 2021).

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر جهت مدیریت پایدار منابع انرژی، و دستیابی به راهحل توافقی پایداری اقتصادی و محیط‌زیستی، الگوی برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه^۱ طراحی شد و در آن، الگوی کشت بهینه زراعی در منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل با در نظر گرفتن حداکثر سود حاصل از فروش محصولات زراعی با تکیه برگسترش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در سبد انرژی مصرفی تأمین آب آبیاری و کاهش مصرف انرژی فسیلی مورد استفاده در تأمین آب آبیاری، تعیین شد. توابع هدف

داده شده نشان داد با کاهش ۲۵ درصدی آبیاری بهینه، بهره‌وری اقتصادی آب حداقل ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت. یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2020) به بررسی الگوهای مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزارع چغندرقد روستای حسین آباد شهرستان شیروان، پرداخته‌اند. نتایج نشان داد، که انرژی ورودی و خروجی مزارع چغندرقد به‌ترتیب ۶۶۸۷۹/۵۲ و ۱۳۱۵۷۱/۵۰ مگاژول در هکتار است. میزان انتشار گازهای CO₂، N₂O و CH₄ به‌ترتیب ۲۱/۲۴۶۳، ۱۰/۰۴ و ۳/۲۶ کیلوگرم در هکتار بود و میزان پتانسیل گرمایش جهانی این گازها ۹۰۴۸ معادل کیلوگرم CO₂ محاسبه گردید.

از مطالعات خارجی، بارتزاس و کمیتساس (Bartzas and Komnitsas, 2018) 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 به‌ترتیب 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 می‌شود. نیروی انسانی و سوخت دیزل نشان می‌دهد تلاش بیشتر انسان و مصرف سوخت دیزل منجر به کاهش عملکرد پسته می‌شود. آلام و همکاران (Alam et al., 2019) بررسی میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای در اثر تغییر تولید شالی غرقابی به نشاء غیریپوکه‌ای پرداختند. ارزیابی نتایج نشان داد انتشار گازهای گلخانه‌ای ۳۱ درصد در مقایسه با نشاء غرقابی فعلی کاهش خواهد یافت. همچنین صرف‌نظر از شیوه‌های استقرار شالی، CH₄ شایع‌ترین انتشار گازهای گلخانه‌ای بود که ۶۳ تا ۶۷ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای را شامل می‌شود. مدینا و همکاران (Medina et al., 2020) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه با هدف عملکرد بهینه سیستم‌های آب، انرژی و غذا و کاهش انتشار برای جوامع کشاورزی مکزیکی 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 زیست‌محیطی با حفظ شاخص اقتصادی می‌باشد. آداما و همکاران (Adama et al., 2020) به‌منظور تخصیص بهینه آب برای به حداکثر رساندن بهره‌وری 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 پژوهش نشان داد تحقیقات در زمینه مصرف انرژی در کشاورزی ایران و تعیین الگوی بهینه کشت بصورت مجزا و گسترده انجام شده است، اما می‌توان اشاره کرد که برطبق بررسی مطالعات انجام شده، تحقیقی که در آن بر بهینه‌سازی

در رابطه ۳، Y_i عملکرد محصول i ، A_i سطح کشت محصول i و $P_{i,t}$ قیمت محصول i در زمان t می‌باشد. $\omega^{PV}, \omega^{BS}, \omega^{INV}, \omega^{DG}, \omega^{PS}$ هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری برای سیستم‌های خورشیدی، باتری، اینورتر، سیستم فسیلی و سیستم پمپ آبیاری می‌باشد. $k_t^{v,PV}, k_t^{v,BS}, k_t^{v,INV}, k_t^{v,DG}, k_t^{v,PS}$ به ترتیب هزینه‌های متغیر تعمیر و نگهداری برای سیستم‌های خورشیدی، باتری، اینورتر، سیستم فسیلی و پمپ آبیاری در زمان t می‌باشد. $C^{PV}, C^{DG}, C^{BS}, C^{INV}, C^{PS}$ ظرفیت تولید انرژی در تکنولوژی خورشیدی، فسیلی، باتری، اینورتر و سیستم پمپ می‌باشد. $p^{PV}, p^{DG}, p^{BS}, p^{INV}, p^{PS}$ میزان تولید انرژی در تکنولوژی خورشیدی، فسیلی، باتری، اینورتر و میزان مصرف سیستم پمپ می‌باشد. η_{DG} ضریب عملکرد سیستم فسیلی در زمان t و میزان راندمان سیستم فسیلی می‌باشند. و در نهایت $C_{i,t}^{product}$ هزینه کاشت هر محصول i (شالی طارم، شالی شیرودی، سویا و ذرت)، در زمان t (در این مطالعه ده ساله در نظر گرفته شد) می‌باشد. جهت تعیین یک تابع هدف مناسب از نظر اقتصادی، لازم است تمامی هزینه‌ها و درآمدها با لحاظ نرخ بهره و نرخ تورم یکسان‌سازی شوند، تا قابلیت جمع جبری با یکدیگر را داشته باشند. لذا در این مطالعه همه هزینه‌ها و درآمدها بر حسب ارزش فعلی محاسبه شدند. نرخ بهره استفاده شده در پژوهش حاضر با استفاده از نرخ بهره اسمی سالانه و نرخ تورم سالانه تعیین شد که اثرات گذشت زمان بر روی هزینه‌ها و درآمد جاری را حذف و با توجه به روابط مربوطه به سال پایه تنزیل داده شد (Saidi et al., 2012). که در رابطه ۴، l نرخ بهره اسمی سالانه (درصد) و f نرخ تورم سالانه (درصد) می‌باشد.

$$r = \frac{l - f}{1 + f} \quad (4)$$

هدف دوم: حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای

دومین هدف موردنظر مطالعه حاضر حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. جهت تامین این هدف، از ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در نتیجه مصرف نهاده‌های سوخت فسیلی، کود و سموم شیمیایی استفاده شد. که با ضرب مقادیر هر یک از نهاده‌های مصرفی ذکر شده در ضرایب انتشار مربوط به آن نهاده در هر هکتار محاسبه گردید (ضرایب انتشار از مطالعات مختلف استخراج شدند (Elhami et al., 2015)). گازهای گلخانه‌ای مورد نظر در این مطالعه شامل CO_2 ، CH_4 و N_2O می‌باشند. ضرایب انتشار هر یک از نهاده‌ها در جدول ۱، نشان داده شده‌اند.

لازم به توضیح است که بار انتشار CO_2 توسط فعالیت‌های کشاورزی، از طریق استفاده از کود، سموم دفع آفات، ماشین‌آلات

مطالعه در قالب دو هدف حداکثر سازی سود (F_{profit}) و حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای ($-F_{Greenhouse Gas}$) می‌باشد که در روابط ۱ تا ۴ ارائه شده است (Medina et al., 2020).

$$\max\{F_{profit}, (-F_{Greenhouse Gas})\} \quad (1)$$

هدف اول: حداکثر سازی سود

با توجه به توضیحات ارائه شده، یکی از اهداف مطالعه حاضر حداکثر سازی سود می‌باشد، که مقدار آن از تفاوت درآمد (حاصل از تولید محصولات زراعی) و کل هزینه‌ها (شامل هزینه آبیاری، کاشت و برداشت، هزینه بذر، کودها و سموم دفع آفات و هزینه نیروی کار) بدست خواهد آمد. که در روابط ۲ و ۳ به نمایش درآمده است (Medina et al., 2020).

$$\max F_{profit} = TR^{crops} - C^{Energy} - C^{Water} - C^{product} \quad (2)$$

در رابطه ۲، F_{profit} مقدار حداکثر سود، TR^{crops} درآمد حاصل از فروش محصولات، C^{Energy} هزینه فن‌آوری‌های تولید برق، C^{Water} هزینه سیستم پمپاژ آب و $C^{product}$ هزینه کاشت محصولات زراعی را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است در رابطه شماره ۲، فن‌آوری‌های تولید برق شامل تکنولوژی‌های فتوولتائیک و موتورهای دیزلی (سیستم فسیلی) در سیستم آبیاری مزارع می‌باشد. سیستم فتوولتائیک شامل سه بخش پنل‌های خورشیدی، باتری و اینورتر جهت تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به برق مورد استفاده در سیستم آبیاری می‌باشد (Medina et al., 2020).

$$\begin{aligned} \max F_{profit} &= \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} \left\{ \left(\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (A_i \cdot Y_i) \cdot P_{i,t} \right) \right. \\ &\quad - \left(\sum_{t=1}^T \left(([\omega^{PV} \cdot C^{PV}] + [k_t^{v,PV} \cdot p^{PV}]) \right. \right. \\ &\quad + [\omega^{BS} \cdot C^{BS}] + [k_t^{v,BS} \cdot p^{BS}] + [\omega^{INV} \cdot C^{INV}] \\ &\quad + [k_t^{v,INV} \cdot p^{INV}]) \left. \right) \\ &\quad + \left([\omega^{DG} \cdot C^{DG}] + [k_t^{v,DG} \cdot p^{DG}] \right. \\ &\quad + \left. \left. \left[\frac{PF_t^{DG} \cdot p^{DG}}{\eta_{DG}} \right] \right) \right. \\ &\quad + ([\omega^{PS} \cdot C^{PS}] + [k_t^{v,PS} \cdot p^{PS}]) \left. \right) \\ &\quad - \left(\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T A_i \cdot C_{i,t}^{product} \right) \left. \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

همچنین انتشار گاز N_2O ناشی از مصرف کود شیمیایی و CH_4 منتشر شده از زمین‌های کشت شالی مدنظر قرار گرفته است. حداقل سازی میزان انتشار می‌تواند به صورت روابط ۵ تا ۸ بیان شود (Yue et al., 2020).

کشاورزی و آبیاری حاصل می‌شود. بار انتشار N_2O عمدتاً از طریق استفاده از کود و بار انتشار CH_4 عمدتاً از شالیزار حاصل می‌گردد (Taghinazhad et al., 2019). که در این مطالعه به حداقل‌رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 ناشی از مصرف سوخت فسیلی، کود و سموم شیمیایی و روغن مورد استفاده در موتور پمپ کشاورزی،

جدول ۱- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌های نهاده‌های کشاورزی

Table 1- Greenhouse gas emission coefficients of agricultural inputs

مرجع Reference	ضریب انتشار گلخانه‌ای Greenhouse gas emission (kg CO ₂ eq unit ⁻¹)	نهاده (واحد) Inputs
(Lai, 2004)	1.3	کود نیتروژن (کیلوگرم) Nitrogen Fertilizers
(Lai, 2004)	0.2	کود فسفات (کیلوگرم) Phosphorus Fertilizers
(Lai, 2004)	0.2	کود پتاسیم (کیلوگرم) Potassium Fertilizers
(Dyer and Desjardins, 2003)	2.76	سوخت (لیتر) Fuel
(Dyer and Desjardins, 2003)	0.071	روغن (لیتر) Oil
(Lai, 2004)	5.1	سموم شیمیایی (لیتر) Chemical poisons

محدودیت انرژی

$$P^{PS} \leq (1 - EL)[P^{PV} + P^{DG} + P^{BS}] \quad (9)$$

لازم به ذکر است که رابطه ۹، محدودیت مربوط به تأمین انرژی الکتریکی موردنیاز سیستم آبرسانی (پمپ) می‌باشد که باید توسط فن‌آوری‌های پنل خورشیدی و سیستم فسیلی، با در نظر گرفتن میزان انرژی ذخیره شده در باتری تأمین شود. لذا مجموع خالص انرژی تولیدی در سیستم خورشیدی، فسیلی و ذخیره در باتری با در نظر گرفتن $(1 - EL)$ تلفات انتقال انرژی (ناشی از سیستم کابل کشی) باید از میزان انرژی موردنیاز سیستم آبرسانی بیشتر باشد (Medina et al., 2020).

محدودیت جریان انرژی

$$P^{PV} \leq C^{PV} \cdot PY^{PV} \quad (10)$$

$$PF^{PV} = CF_{PV} \cdot h \quad (11)$$

$$P^{DG} \leq C^{DG} \cdot PY^{DG} \quad (12)$$

$$PF^{DG} = CF_{DG} \cdot h \quad (13)$$

که CF ، PY و h به ترتیب برابر ضریب عملکرد، ضریب ظرفیت تکنولوژی تولید انرژی (پنل فتوولتائیک و سیستم فسیلی) و زمان کارکرد فن‌آوری‌های مذکور جهت تولید برق سالانه می‌باشند. روابط (۱۰) و (۱۲)، محدودیت‌های مربوط به میزان تولید انرژی به ترتیب از

$$\min F_{Greenhouse Gas} = GE^{CO_2} + GE^{N_2O} + GE^{CH_4} \quad (5)$$

$$GE^{CO_2} = \sum_{i=1}^I A_i ((\varepsilon_{DG} \cdot P^{DG}) + (\varepsilon_{oil} \cdot OIL_{mh}) + (\varepsilon_{FT} \cdot FT_i) + (\varepsilon_{PE} \cdot PE_i)) \quad (6)$$

$$GE^{N_2O} = \sum_{i=1}^I A_i \cdot FT_i \cdot \vartheta_{FT} \quad (7)$$

$$GE^{CH_4} = \sum_{i=1}^2 A_i \cdot \sigma^{CH_4} \quad (8)$$

در رابطه ۵، GE^{CO_2} ، GE^{N_2O} ، GE^{CH_4} به ترتیب میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 ، N_2O و CH_4 می‌باشد. ε_{DG} ، ε_{oil} ، ε_{FT} ، ε_{PE} ، به ترتیب میزان انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 ناشی از مصرف سوخت فسیلی و مصرف روغن در ماشین‌آلات مزارع و ناشی از مصرف کود شیمیایی و مصرف سموم شیمیایی در سطح مزارع می‌باشند. مقادیر P^{DG} ، OIL_{mh} ، FT_i ، PE_i ، به ترتیب میزان مصرف انرژی فسیلی، روغن مورد استفاده ماشین‌آلات در زمین‌های زراعی، کود مورد استفاده در زمین‌های زراعی برای محصول i و سم مورد استفاده در زمین‌های زراعی برای هر محصول i می‌باشند. σ^{CH_4} و ϑ_{FT} ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای N_2O ناشی از مصرف کود شیمیایی در سطح مزارع و بار انتشار CH_4 در سطح شالیزاری می‌باشد.

محدودیت‌های مدل نیز شامل انرژی، جریان انرژی، آب، کود، سرمایه و زمین می‌باشند که در ادامه معرفی خواهند شد.

که در رابطه مذکور، A_i و A_{TOT} به ترتیب میزان سطح کل کشت محصولات کشاورزی و میزان سطح کشت محصول λ می باشد (Yue et al., 2020).

بطور خلاصه چارچوب کلی در این مطالعه، مدل چندهدفه با توابع هدف حداکثرسازی سود و حداقل سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای (ناشی از مصرف کود و سموم شیمیایی و مصرف سوخت فسیلی) مشروط به محدودیت‌های انرژی، جریان انرژی، آب، کود، سرمایه و زمین، با استفاده از روش اپسیلون محدودیت حل خواهد شد. متغیرهای تصمیم مطالعه شامل متغیر ظرفیت تولید برای انرژی‌های فسیلی، خورشیدی پنل، خورشیدی باتری و خورشیدی اینورتر، ظرفیت تولید انرژی سیستم پمپ، میزان تولید برای انرژی‌های سوخت فسیلی، خورشیدی پنل، خورشیدی باتری، خورشیدی اینورتر، سیستم پمپ و سطح زیرکشت محصولات تخصیص داده می‌باشند که در قالب مجموعه جواب‌ها بدست خواهد آمد. با حل این مدل، ۱۰ نقطه بهینه پارتو به دست خواهد آمد. که با استفاده از روش چندمعیاره تاپسیس و براساس شاخص انرژی که در ادامه توضیحات آن ارائه شده است، جواب بهینه انتخاب خواهد شد.

روش اپسیلون محدودیت^۱ به کارگرفته شده در مطالعه حاضر، به عنوان یکی از روش‌های کارآمد برای حل مسائل چندهدفه مطرح است و کارایی بالاتری نسبت به روش‌های سنتی همچون روش وزنی دارد. با توجه به اینکه در این روش، مجموعه‌ای از راه‌حل‌های پارتو ایجاد می‌شود، از این رو سیاست‌گزاران می‌توانند در انتخاب بهترین راه‌حل، آزادی عمل بیشتری داشته باشند (Radmehr et al., 2020). در این روش، برای حل مدل، لازم است با انتقال تمامی توابع هدف به جز یکی از اهداف به بخش محدودیت‌ها، اقدام به حل مدل نمود. سرانجام با توجه به مجموعه جواب‌های پارتو به دست آمده از روش حل مدل چندهدفه و با استفاده از شاخص‌های پایداری انرژی جهت دستیابی به راه حلی که بتواند مدیریت پایدار منابع انرژی منطقه را به خوبی نتیجه دهد تصمیم‌گیری نهایی انجام خواهد شد. بر اساس یافته‌های ال گافی (۲۰۱۷)، شاخص‌های پیوند انرژی (E) به عنوان ابزاری کارآمد برای ارزیابی مدیریت پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرد. از اینرو، در این پژوهش، شاخص مصرف انرژی، شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی انرژی، بهره‌وری فیزیکی انرژی و بهره‌وری زیست‌محیطی انرژی مورد استفاده قرار گرفت (Radmehr et al., 2020).

شاخص مصرف انرژی^۲: این شاخص کل انرژی مصرف شده را نشان می‌دهد. واحد این شاخص کیلووات ساعت می‌باشد. علامت قطبیت این شاخص منفی می‌باشد (هرچه کمتر باشد، بهتر است) (Radmehr et al., 2020).

فن‌آوری‌های تولید انرژی پنل فتوولتائیک و سیستم فسیلی می‌باشد که قسمت چپ روابط مذکور بیانگر حداکثر تولید انرژی عملیاتی است. هر فن‌آوری تولید انرژی دارای یک ظرفیت اسمی (عدد ثبت شده در پلاک نصبی تجهیز) است که در حالت عملیاتی درصدی از این ظرفیت بالفعل شده و قابل عملیاتی شدن است و این درصد با توجه به ضریب عملکرد آن تعیین می‌شود. روابط (۱۱) و (۱۳) نیز مربوط به محدودیت تعیین میزان ضریب عملکرد فن‌آوری‌های تولید انرژی به ترتیب پنل فتوولتائیک و سیستم فسیلی می‌باشد که با توجه به ظرفیت اسمی و زمان عملکرد هر فن‌آوری تعیین می‌شود (Medina et al., 2020).

محدودیت آب

$$\sum_{i=1}^I Wa_i \cdot A_i \leq Wa_{TOT} \quad (14)$$

که در رابطه ۱۴، Wa_i نیاز آبی محصول i و Wa_{TOT} میزان کل آب مورد نیاز می‌باشد.

محدودیت کود

$$\sum_{i=1}^I FT_i \cdot A_i \leq [FTT]_{TOT} \quad (15)$$

در رابطه ۱۵، FT_i مقدار کود مورد نیاز برای یک هکتار محصول λ و $[FTT]_{TOT}$ کل کود موجود می‌باشد (Yue et al., 2020).

محدودیت سرمایه

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T Ca_{i,t} \cdot A_i \leq Ca_{TOT} \quad (16)$$

در رابطه ۱۶، $Ca_{i,t}$ مقدار سرمایه مورد نیاز برای کشت یک هکتار محصول λ در زمان t و Ca_{TOT} کل سرمایه موجود می‌باشد. منظور از سرمایه، کل هزینه‌های نهاده‌های به کار گرفته شده که شامل هزینه‌های کود، نیروی کار، ماشین‌آلات، سموم شیمیایی، آب و سایر نهاده‌های مورد نیاز برای کشت هر محصول را نشان خواهد داد (Yue et al., 2020).

محدودیت زمین

$$\sum_{i=1}^I A_i \leq A_{TOT} \quad (17)$$

تجدیدپذیر کشور (سازمان ساتبا)، دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا و آمارهای بین‌المللی انرژی در سال ۱۴۰۰ تأمین شد. همچنین جهت برآورد نتایج مدل چندهدفه با روش اپسیلون محدودیت، از نرم‌افزار Matlab و برای برآورد نتایج بخش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس مطالب از پیش ارائه شده در این مطالعه برای تعیین الگوی بهینه کشت و سبد بهینه مصرف انرژی از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه استفاده شده است، که در گام نخست، مجموعه‌ی نقاط بهینه پارتو (ماتریس تاوان^۴)، با لحاظ دو هدف حداکثرسازی منافع اقتصادی و حداقل‌سازی انتشار محاسبه گردید. برای محاسبه راه‌حل‌های پارتو، در ابتدا حداقل و حداکثر مقادیر توابع هدف اقتصادی و محیط‌زیستی محاسبه شدند که در **جدول ۲** قابل مشاهده می‌باشد.

در ادامه، با بکارگیری روش اپسیلون محدودیت^۵ الگوی چندهدفه حل و نقاط پارتو تعیین شد (منافع اقتصادی حاصل از کشت محصولات به‌عنوان هدف مطالعه و تابع محیط‌زیستی به‌عنوان یک محدودیت با مقادیر سمت راست اپسیلون لحاظ شده است). دامنه بین دو مقدار حداکثر و حداقل تابع هدف محیط‌زیستی در **جدول ۲** برای بدست آوردن ارزش‌های اپسیلون، به ده نقطه تقسیم شده است. الگوی بهینه با هدف حداکثرسازی منافع اقتصادی با در نظر گرفتن مقادیر مختلف ارزش اپسیلون، حل شده و نقاط پارتو به دست آمده است. ماتریس Pay-off بین دو هدف اقتصادی و محیط‌زیستی در جدول ۳ ارائه شد. راه‌حل‌های A1 و A10 به‌ترتیب نشان‌دهنده حداقل انتشار گازهای گلخانه‌ای و حداکثر سود اقتصادی می‌باشد.

نتیجه مهمی که می‌توان از جدول ۳، به‌دست آورد این است که میزان خسارت محیط‌زیستی با افزایش منافع اقتصادی افزایش می‌یابد. این نتیجه با مطالعه کل استد (۱۹۹۳) مبنی بر اینکه رشد اقتصادی مستلزم استفاده بیشتر از منابع طبیعی و انرژی به‌ویژه سوخت‌های فسیلی که آن هم به‌نوبه خود تخریب محیط‌زیست را به‌دنبال دارد، همسو می‌باشد.

با توجه به اینکه اهداف مطالعه حاضر، همسو با یکدیگر نیستند، بنابراین برای انتخاب بهترین جواب از میان راه‌حل‌های پارتو از روش رتبه‌بندی چند معیاره TOPSIS استفاده شد. در تشریح گام‌های روش حل تاپسیس بیان شد که در قدم اول یک ماتریس تصمیم برای n گزینه و m معیار بنا می‌شود (n نشان دهنده تعداد شاخص‌ها و m راه‌حل‌های پارتو می‌باشد). در این مطالعه از شاخص‌های پیوند انرژی

شاخص بهره‌وری اقتصادی انرژی^۱: این شاخص مقدار منفعت اقتصادی به‌دست‌آمده به ازای یک واحد انرژی مصرف شده را نشان خواهد داد. واحد این شاخص ریال به کیلووات ساعت است. علامت قطبیت این شاخص مثبت می‌باشد (هرچه بیشتر باشد، بهتر است) (Radmehr et al., 2020).

شاخص بهره‌وری فیزیکی انرژی^۲: این شاخص مقدار تولید حاصل شده به یک واحد انرژی مصرف‌شده را نشان می‌دهد. واحد این شاخص کیلوگرم به کیلووات ساعت می‌باشد. علامت قطبیت این شاخص مثبت می‌باشد (هرچه بیشتر باشد، در تصمیم‌گیری بهتر است) (Radmehr et al., 2020).

شاخص بهره‌وری محیط‌زیستی^۳: این شاخص مقدار تولید حاصل شده به انتشار گاز گلخانه‌ای را نشان خواهد داد. واحد این شاخص کیلوگرم به تن CO₂ می‌باشد. علامت قطبیت این شاخص مثبت می‌باشد (هرچه بیشتر باشد، در تصمیم‌گیری بهتر است) (Radmehr et al., 2020).

در ادامه از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس^۴ برای انتخاب بهترین جواب از میان مجموعه پارتو بر اساس شاخص‌های پیوند انرژی استفاده خواهد شد. این راه‌حل در هفت مرحله اصلی انجام می‌شود (Radmehr et al., 2021):

- ✓ ساختن ماتریس تصمیم
 - ✓ محاسبه ماتریس نرمال‌شده ماتریس تصمیم
 - ✓ محاسبه ماتریس وزنی نرمال‌شده
 - ✓ معرفی گزینه‌های ایده‌آل مثبت (A+) و ایده‌آل منفی (A-)
 - ✓ محاسبه فاصله هر درایه از هر یک از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی
 - ✓ محاسبه یک شاخص Ci برای محاسبه بهترین راه‌حل از میان راه‌حل‌های موجود
 - ✓ رتبه‌بندی راه‌حل‌ها
- راه‌حلی که بالاترین ارزش Ci را داشته باشد، به‌عنوان بهترین راه‌حل انتخاب می‌شود.

جامعه آماری موردنظر در این مطالعه، زارعین منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل می‌باشند. داده‌های مربوط به بخش زراعی پژوهش حاضر از جمله سرمایه، زمین، آب، کود و..... از طریق اداره جهاد کشاورزی منطقه، در سال ۱۴۰۰ به صورت خام جمع‌آوری شد. اطلاعات فنی و اقتصادی نیز به‌صورت عمده از مراجع معتبر داخلی همانند دفتر برنامه‌ریزی جامع انرژی وزارت نیرو، برنامه‌ریزی کلان انرژی کشور در قسمت حامل‌های انرژی وزارت نفت، برنامه جامع انرژی‌های

4- Multi-criteria decision making of TOPSIS

5- Pay-off Matrix

6- Epsilon Constraint Method

1- Economic Energy Productivity

2- Physical Energy Productivity

3- Environmental Productivity

انرژی را در هر یک از راه‌حل‌های پارتو نشان می‌دهد که مجموع این شاخص‌ها ماتریس تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین راه‌حل را ارائه می‌دهد.

شامل ۴ شاخص: مصرف انرژی (ENG)، بهره‌وری اقتصادی انرژی (ECOEP)، بهره‌وری فیزیکی انرژی (PHEP) و بهره‌وری محیط‌زیستی (EN)، برای راه‌حل‌های ده‌گانه پارتو استفاده گردید، و ماتریس تصمیم تشکیل شد. جدول ۴، مقدار هریک از شاخص‌های

جدول ۲- حداکثر و حداقل اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی

Table 2- Pay-off matrix of economic and environmental goals for each solution

هدف اقتصادی (میلیون ریال) Economic goal (million Rials)	هدف محیط‌زیستی (کیلوگرم CO ₂) Environmental purpose (kg CO ₂)	
559. 68	1608	حداکثر مقدار Maximum amount
529. 19	1419	حداقل مقدار Minimum amount

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

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

Table 3- Pay-off matrix of economic and environmental goals for each solution

راه‌حل Solution	هدف اقتصادی Economic goal (million Rials)	هدف محیط‌زیست Environmental purpose (kg CO ₂)
A ₁	529. 19	1419
A ₂	532. 80	1440
A ₃	538. 41	1461
A ₄	540. 02	1482
A ₅	543. 63	1503
A ₆	545. 23	1524
A ₇	548. 85	1545
A ₈	552. 46	1566
A ₉	556. 07	1587
A ₁₀	559. 68	1608

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۴- ماتریس تصمیم شاخص‌های نقاط پارتو

Table 4- Indicator decision matrix Pareto points

راه‌حل Solution	بهره‌وری محیط‌زیستی Environmental productivity (kg/kg CO ₂)	بهره‌وری فیزیکی انرژی Physical energy productivity (kg/kWh)	بهره‌وری اقتصادی انرژی Economic energy productivity (Rials/kWh)	مصرف انرژی Energy consumption (kwh)
A ₁	3.83	2.57	2.51E+05	2110
A ₂	3.94	2.62	2.50E+05	2133
A ₃	4.00	2.67	2.49E+05	2157
A ₄	4.06	2.72	2.48E+05	2180
A ₅	4.11	2.76	2.47E+05	2204
A ₆	4.16	2.81	2.45E+05	2227
A ₇	4.21	2.85	2.44E+05	2251
A ₈	4.26	2.89	2.43E+05	2274
A ₉	4.31	2.94	2.42E+05	2298
A ₁₀	4.36	2.98	2.41E+05	2321

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

شاخص تقسیم شده، که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. در گام سوم، وزن‌دهی به ماتریس نرمال شده انجام و مجموعه وزن‌ها در

در گام دوم روش تاپسیس جهت نرمال‌سازی شاخص‌های موجود در ماتریس تصمیم هر یک از مقادیر بر اندازه بردار مربوط به همان

ماتریس نرمالایز شده ضرب شده است. لازم به توضیح است که در مطالعه حاضر، اهمیت یکسان به دو هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (صرفه‌جویی در مصرف انرژی فسیلی) و افزایش سود در تصمیم‌گیری، وزن یکسانی معادل با ۲۵ درصد برای هر یک از معیارها در نظر گرفته شده است.

در گام بعدی راه‌حل‌های ایده‌آل و غیرایده‌آل برای هریک از شاخص‌ها محاسبه شده است. و در نهایت رتبه‌بندی گزینه‌ها که در **جدول ۵** مقدار شاخص C_i را نشان می‌دهد. هرچه مقدار این شاخص بالاتر باشد، راه‌حل پارتو موردنظر دارای رتبه بالاتری بر اساس پیوند انرژی است.

جدول ۵- ماتریس تصمیم نرمال برای نقاط پارتو
Table 5- Normal decision matrix for Pareto points

راه‌حل Solution	بهره‌وری محیط‌زیستی Environmental productivity (kg / kg CO ₂)	بهره‌وری فیزیکی انرژی Physical energy productivity (kg/kWh)	بهره‌وری اقتصادی انرژی Economic energy productivity (Rials/kWh)	مصرف انرژی Energy consumption (kwh)
A ₁	0.293	0.292	0.322	0.301
A ₂	0.302	0.297	0.321	0.304
A ₃	0.306	0.303	0.319	0.3071
A ₄	0.310	0.308	0.318	0.311
A ₅	0.314	0.313	0.317	0.314
A ₆	0.318	0.318	0.314	0.317
A ₇	0.322	0.323	0.313	0.321
A ₈	0.326	0.328	0.312	0.324
A ₉	0.330	0.333	0.311	0.327
A ₁₀	0.333	0.338	0.310	0.331

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۶- رتبه‌بندی راه‌حل‌ها
Table 6- Ranking of solutions

راه‌حل Solutions	رتبه Ranking	C_i
A ₁	2	0.58
A ₂	4	0.50
A ₃	1	0.59
A ₄	3	0.54
A ₅	5	0.43
A ₆	6	0.36
A ₇	7	0.31
A ₈	10	0.27
A ₉	9	0.28
A ₁₀	8	0.29

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

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 به دنبال حداکثر سود می‌باشد، انگیزه برای کشت این رقم افزایش یافته است (بدون توجه به آسیب‌های محیط‌زیستی به دلیل سنتی بودن شیوه تولید شالی در منطقه). هم‌چنین، شالی طارم به دلیل کیفیت بیشتر این نوع شالی و مصرف خانگی این محصول، رتبه بعدی در کشت محصولات را به خود اختصاص داد.

بر اساس نتایج **جدول ۶**، راه‌حل هشتم A₃ دارای بالاترین مقدار در مقایسه با سایر راه‌حل‌ها می‌باشد، زیرا کمترین فاصله با راه‌حل ایده‌آل و بیشترین فاصله را از نامناسب‌ترین گزینه داشته است. از این رو، راه‌حل A₃ به عنوان بهترین راه‌حل از بین ده راه‌حل پارتو بر اساس شاخص پیوند انرژی انتخاب می‌شود. نتیجه نهایی مدل بهینه در شرایط لحاظ انرژی تجدیدپذیر جدول ۷ قابل مشاهده است.

همان گونه که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، در شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر (شرایط فعلی)، از میان محصولات مورد مطالعه، شالی شیروودی بیش‌ترین سهم را در الگوی کشت جاری به خود اختصاص داد.

جدول ۷- سبد مصرف انرژی و الگوی بهینه محصولات

Table 7- Energy consumption basket and optimal product pattern

راه حل A8 Solution A8	محصولات Products	الگوی فعلی در شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر The current pattern in the absence of recyclable energy	الگوی بهینه در شرایط لحاظ انرژی تجدیدپذیر Optimal pattern in terms of renewable energy	درصد تغییرات Percentage of changes
سطح زیرکشت Area under cultivation	شالی طارم (h) Tarom rice (h)	0.41	0.44	
	شالی شیروودی (h) Shiroodi rice (h)	0.48	0.30	
	سویا (h) Soybean (h)	0.05	0.16	
	ذرت (h) Corn (h)	0.05	0.10	
	ظرفیت تولید انرژی خورشیدی پنل (kw) Solar panel production capacity (kw)	0	0.83	
	میزان تولید انرژی خورشیدی پنل (kwh) Solar panel production rate (kwh)	0	500	
	ظرفیت تولید انرژی خورشیدی باتری (kw) Battery solar power generation capacity (kw)	0	1.32	
	میزان تولید انرژی خورشیدی باتری (kwh) Battery solar power generation (kwh)	0	300	
	ظرفیت تولید انرژی خورشیدی اینورتر (kw) Inverter solar power generation capacity (kw)	0	0.60	
	میزان تولید انرژی خورشیدی اینورتر (kwh) Inverter solar energy production rate (kwh)	0	466	
	ظرفیت تولید انرژی فسیلی (kw) Fossil energy production capacity (kw)	1.5	1.08	
	میزان تولید انرژی سوخت فسیلی (kwh) Fossil fuel energy production (kwh)	3159	2190	

ظرفیت مصرف انرژی سیستم پمپ (kw) Pump system power consumption capacity (kw)	0.57	0.50	
میزان مصرف انرژی سیستم پمپ (kwh) Pump system energy consumption (kwh)	2812	2394	
هدف حداکثر سود Maximum profit goal (million rials)	536.49	538.41	+0.35
هدف حداقل انتشار گازهای (CO ₂) کیلوگرم گلخانه ای Minimum greenhouse gas emissions goal (kg CO ₂)	1790	1461	-18

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

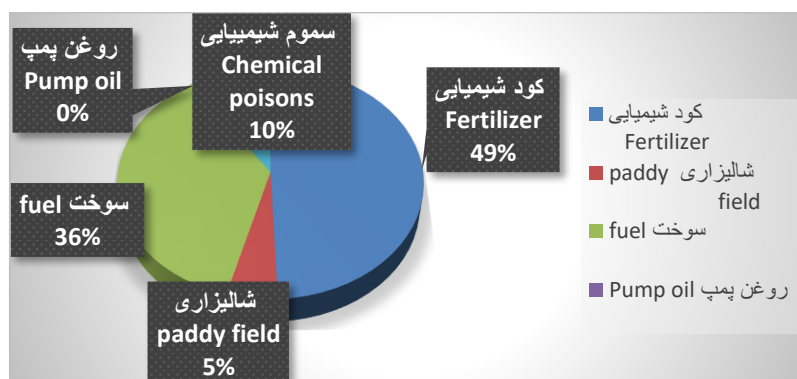
میزان کشت را به خود اختصاص دادند، این در حالی است که این ارقام مصرف انرژی (جهت برداشت آب زیرزمینی) بالاتری نسبت به محصولات سویا و ذرت دارند. ولی از آنجا که کشاورزان منطقه چندسالی است که به دلیل بالا بودن نسبی سود این رقم نسبت به سایر محصولات، این محصول را به عنوان رقم غالب در الگوی کشت خود منظور نمودند، لذا مسلماً کشاورزان به دلیل ماهیت ریسک‌گریزی که دارند، اگر بخواهند در راستای کاهش مصرف انرژی قدمی بردارند، در درجه اول به درآمد گذشته‌ی خود می‌نگرند و رقمی را انتخاب می‌کنند که منفعتی همانند گذشته حاصل کند. لذا باقی ماندن این محصولات در الگوی کشت حتی با وجود تأکید بر کاهش مصرف انرژی، منطقی به نظر می‌رسد. لذا، مدل در جهت بهینه نمودن جواب نهایی سعی بر حداکثرسازی سطح کشت محصول طارم و شیروودی داشته است.

با توجه به تابع سود (رابطه ۳) یکی از متغیرهای تصمیم، کل انرژی مورد نیاز سیستم پمپ بوده است، که در الگوی بهینه در شرایط لحاظ انرژی تجدیدپذیر برابر ۲۶۹۰ کیلووات ساعت به دست آمد است. از ۲۶۹۰ کیلووات ساعت انرژی بدست آمده، ۸۲ درصد آن را انرژی فسیلی و ۱۸ درصد آن را، انرژی خورشیدی به خود اختصاص دادند. طبق محاسبات انجام شده در رابطه ۳، برای تأمین ۱۸ درصد (۵۰۰ کیلووات ساعت) برق خورشیدی مورد نیاز سیستم آبیاری به منظور آبیاری یک هکتار، الگوی پیشنهادی مدل بهینه در منطقه مورد مطالعه، پنل خورشیدی با ظرفیت ۰/۸۳ کیلووات مورد نیاز خواهد بود. ۵۰۰ کیلووات ساعت انرژی تولیدی توسط پنل در مواقع استفاده از پمپ مستقیماً مصرف می‌گردد، و در شرایطی که پمپ خاموش باشد توسط باتری‌ای با ظرفیت ۱/۳۲ کیلووات ذخیره می‌شود، و در مواقع لزوم (با فرض راندمان ۶۰ درصدی باتری)، ۳۰۰ کیلووات ساعت انرژی به سیستم پمپ منتقل می‌کند. با توجه به نتایج در شرایط بهینه برای

ذرت و سویا با سطح کشت ۰/۰۵ و ۰/۰۵ هکتار رتبه بعدی را به خود اختصاص دادند (باقی محصولات که سطح کشت ناچیزی داشتند و محصولاتی که بصورت دیم کشت می‌شوند، از مطالعه حذف شدند). نتیجه دیگری که می‌توان از بررسی وضعیت فعلی منطقه به دست آورد این است که کشت محصولات در این منطقه متکی بر انرژی تجدیدپذیر می‌باشد، که می‌تواند در صورت مدیریت ناصحیح، محیط زیست منطقه را تهدید کند. این مسئله نشان دهنده اهمیت برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت انرژی در این منطقه می‌باشد.

با توجه به اینکه در مطالعه حاضر تعیین الگوی کشت بهینه با تأکید بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش سود مورد بررسی قرار گرفت، مدل در وضعیت لحاظ انرژی تجدیدپذیر، پیشنهاد می‌کند که چهار نوع محصول شالی طارم، شالی شیروودی، سویا، و ذرت به ترتیب با سطح کشت ۰/۴۴، ۰/۳۰، ۰/۱۶ و ۰/۱۰ در هکتار کشت شوند همان‌طور که مشاهده می‌شود مطابق با خروجی‌های مدل بهینه با لحاظ انرژی تجدیدپذیر، بخش عمده زمین‌های تحت کشت، به شالی رقم طارم و شیروودی اختصاص می‌یابد. کاهش سطح کشت رقم شیروودی بیشتر از کاهش سطح کشت شالی طارم است. شالی شیروودی جزء ارقام پرمحصول می‌باشد، که به پمپاژ آب و کود بیشتر نیاز دارد، بنابراین وقتی مدل حداکثرسازی سود و کاهش انتشار گاز حاصل سوخت فسیلی و کود مدنظر باشد، طبیعی است که سطح کشت شیروودی 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 شیروودی نسبت به رقم طارم چندان چشمگیر نیست و به نوعی مدل علاوه بر حفاظت انتشار گازهای گلخانه‌ای، سودآوری زارعین منطقه را نیز مورد توجه قرار داده است. با مشاهده شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر وضعیت فعلی، شالی طارم و شیروودی بیشترین

فعلی، افراد بدون توجه به میزان مصرف انرژی و هزینه‌های تولید، محصولات را کشت می‌کنند (سنتی بودن شیوه تولید شالی توسط کشاورزان منطقه) در صورتی که با انتخاب الگوی درست، می‌توان منافع اقتصادی کشاورز را ۳۵٪ درصد افزایش داد و هم‌زمان میزان قابل توجهی در مصرف انرژی فسیلی صرفه‌جویی کرد. با توجه به اینکه هدف دوم مطالعه کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در مدل بهینه می‌باشد، در شکل ۱ به تفکیک منابع ایجادکننده آلودگی نشان داده شد.



شکل ۱- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط لحاظ انرژی تجدیدپذیر به تفکیک نهاده‌ها
Figure 1- Emission rate of greenhouse gases in terms of renewable energy by input

CO₂ در هکتار معادل ۱۰ درصد و ۵ درصد در جایگاه بعدی قرار گرفتند. نهایتاً روغن مورد استفاده پمپ کشاورزی با انتشار نزدیک یک کیلوگرم در رتبه آخر قرار گرفته است.

با توجه به نتایج مدل بهینه (در راستای دستیابی به هدف کاهش انتشار) در مطالعه که کاهش ۱۸ درصدی سهم انرژی فسیلی در سبد مصرف انرژی مورد نیاز پمپا آب آبیاری را به همراه داشته است، الگوی کشت بهینه نیز به صورت ۷ درصد افزایش سطح کشت طارم، ۳۷ درصد کاهش سطح کشت شیروودی، افزایش ۲۲۰ درصد سطح کشت سویا و افزایش ۱۰۰ درصدی کشت ذرت و کاهش ۱۸ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر تغییر یافت. در واقع، با کاهش سطح کشت ارقام شالی (با توجه به سنتی بودن شیوه تولید شالی و مصرف بالای نهاده‌های تولید) و سوق دادن سطح کشت به سمت محصولات سویا و ذرت، از میزان انتشار کاسته و در نتیجه منطقه را از شرایط بحرانی انتشار خارج کرد. با توجه به نتایج به دست آمده در این بخش، انتخاب الگوی پیشنهادی از نظر اقتصادی و محیط‌زیستی مقرون به صرفه و در راستای توسعه پایدار است.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر سعی شد منافع کشاورزان با در نظر گرفتن حداکثر سود زراعی با تکیه بر استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در سبد

آبیاری ۴۴٪ هکتار شالی طارم، ۳۰٪ هکتار شیروودی، ۱۶٪ هکتار سویا و ۱٪ هکتار ذرت به پمپی با قدرت موتور حدود ۲/۳ کیلووات ساعت با ترکیب ۸۲ درصد انرژی فسیلی و ۱۸ درصد انرژی خورشیدی نیاز خواهد بود. با توجه به اینکه یکی از اهداف مطالعه حداکثرسازی سود می‌باشد، نتایج مدل در وضعیت لحاظ انرژی تجدیدپذیر نشان می‌دهد، که با اجرای الگوی پیشنهادی سود زارعین منطقه به‌ازای هر هکتار از ۵۳۶/۴۹ به ۵۳۸/۴۱ میلیون ریال نسبت به وضعیت عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر در کل فصل زراعی، افزایش می‌یابد. یعنی در شرایط

نتایج مطالعه نشان داد که به‌ازای کشت ۴۴٪ هکتار شالی طارم، ۳۰٪ هکتار شیروودی، ۱۶٪ هکتار سویا و ۱٪ هکتار ذرت، به میزان ۱۴۶۱ کیلوگرم معادل CO₂ آلودگی ناشی از مصرف کود، سموم و مصرف سوخت فسیلی منتشر خواهد شد، که نسبت به حالت فعلی در شرایطی که تنها از سوخت فسیلی جهت آبیاری محصولات استفاده می‌کنند ۱۸ درصد کاهش یافته است. در این حالت هر دو هدف یعنی افزایش سود و کاهش انتشار نسبت به شرایط فعلی تامین خواهد شد که نشان‌دهنده برتری مدل پیشنهادی می‌باشد. سهم هریک از نهاده‌های ورودی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در شکل ۱ قابل مشاهده است. سهم هر یک از نهاده‌ها از طریق ضرب مقدار نهاده‌های مصرفی در ضریب‌های انتشار مربوط به نهاده‌ها و سطح کشت محصولات به دست آمد. در بین فعالیت‌های مختلف، مصرف کود با میانگین ۷۲۰ کیلوگرم CO₂ در هکتار معادل ۴۹ درصد، بیشترین مقدار را از نظر انتشار دی‌اکسید کربن به خود اختصاص داد. در واقع به‌ازای کشت ۴۴٪ هکتار شالی طارم، ۳۰٪ هکتار شیروودی، ۱۶٪ هکتار سویا و ۱٪ هکتار ذرت، با مصرف مقدار مشخصی کود، ۷۲۰ کیلوگرم CO₂ در هکتار منتشر خواهد شد. سوخت مصرفی برای پمپا آب آبیاری با میانگین ۵۳۱ کیلوگرم CO₂ در هکتار معادل ۳۶ درصد از کل انتشار، در رتبه دوم انتشار دی‌اکسیدکربن قرار گرفت. سموم شیمیایی و زمین‌های شالیزار به ترتیب با میانگین ۱۳۷ کیلوگرم و ۷۲ کیلوگرم

در میزان مصرف سوخت‌های فسیلی باعث تقلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، مطابقت دارد. در بخش دیگر نتایج میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۱۴۶۱ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار به دست آمد، که با مطالعه دستان و همکاران (Dastan et al., 2013) مبنی بر متوسط انتشار ناشی از تولید شالی را برابر ۲۳۰۷ کیلوگرم CO₂ در هکتار محاسبه نمودند، همسو می‌باشد. همچنین، عامل اصلی ایجادکننده انتشار گازهای گلخانه‌ای در این پژوهش مربوط به کود و سپس سوخت فسیلی می‌باشد، که با مطالعه سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013)، در بررسی خود به این نتیجه دست یافتند که سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی به ترتیب با ۴۵/۸ و ۲۲/۵ درصد باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند، هم راستا می‌باشد.

بدیهی است پایان‌پذیری منابع فسیلی انرژی و ضرورت افزایش ارزش منابع خورشیدی و تبدیل آن به مواد با ارزش افزوده بالا ضرورت استفاده از این منابع انرژی در تأمین برق مورد نیاز بخش‌های کشاورزی بالاخص در مواردی که نیازها فصلی بوده و بیشتر به فصل‌های آفتابی سال محدود می‌شود، محرز می‌نماید. به همین منظور، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران کشاورزی از طریق ترویج استفاده انرژی خورشیدی در آبیاری و استفاده از این ظرفیت بزرگ در کشور، توجه 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.

انرژی‌های مصرفی بخش کشاورزی (با کاهش میزان مصرف سوخت منابع انرژی فسیلی مورد استفاده)، در قالب تعیین الگوی کشت بهینه محاسبه و با شرایط فعلی مقایسه خواهد شد. نتایج نشان داد الگوی بهینه در شرایط لحاظ انرژی تجدیدپذیر، نسبت به شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر، برتری نسبی در دستیابی به اهداف مورد نظر مطالعه دارد، که با نتایج مطالعه کالتساس و همکاران (Kaltsas et al., 2007) مبنی بر بیشتر بودن مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی در نظام کاشت ارگانیک نسبت به نظام کاشت رایج، مطابقت دارد. همچنین، مشاهده شد که در حالت بهینه، رقم طارم بیشترین سطح کشت را به خود اختصاص داده که این امر می‌تواند سود بیشتر و آلاینده‌گی کمتر این محصول در مقایسه با سایر محصولات را نتیجه دهد. با توجه به نتایج الگوی چندهدفه، پیشنهاد می‌شود رقم طارم بیشترین سطح کشت را به خود اختصاص دهد و کشاورزان منطقه بهتر است با توجه به میزان منابع در اختیارشان، این محصول را جایگزین دیگر ارقام نمایند. نتایج این مطالعه با نتیجه‌ی اندک مطالعات مشابه انجام شده، مطابقت دارد. به عنوان مثال نتیجه مطالعه پرورش ریزی و اشرف زاده (Parvareshrizi and Ashrafzadeh, 2018) با هدف تحلیل فنی- اقتصادی آبیاری خورشیدی (مقایسه با منابع متداول انرژی در آبیاری)، نشان داد شرایط فعلی بهینه نبوده است و استفاده از ترکیب انرژی فسیلی و خورشیدی علاوه بر افزایش سود مقدار انتشار را کاهش می‌دهد. هدف کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیز در وضعیت استفاده از انرژی تجدیدپذیر ۱۸ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین با مطالعه دایر و دسجاردینز (Dayer and Desjardins, 2003) مبنی بر کاهش

منابع

- Adama, G., Jimoh, D., & Otache, M. (2020), Optimization of irrigation water allocation framework based on genetic algorithm approach. *Journal of Water Resource and Protection*, 12, 316-329.
- Agriculture Jihad of babol city, (2021). <https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.124019>
- Alam, M., Bell, R., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.215>
- Ameri, M., Magdsabeti, A., & Norozi, M. (2005). *Economic feasibility study of using solar pumps in Kerman province*. 13th Annual Conference on Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology. (In Persian)
- Bartzas, G., & Komnitsas, K. (2018). Energy flow analysis in agriculture; the case of irrigated pistachio production in Greece. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.06.007>
- Baghrian, A., Saleh, A., & Pikani, Gh. (2007). *Optimization of cultivation pattern in Kazerun region using linear programming method*. The sixth biennial conference of the Iranian Agricultural Economics Association. Mashhad. 8 and 9 November. (In Persian)
- Dayer, J., & Desjardins, L. (2003). The impact of farm machinery management on the greenhouse gas emissions from Canadian agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22, 59-74. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_07
- Dastan, S., Soltani, A., Noor Mohammadi, G.H., & 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 with English abstract)
- El-Gafy, I. (2017). Water-food-energy nexus index: analysis of water-energy-food nexus of crop's production system applying the indicators approach. *Applied Water Science*, 7(6), 2857-2868. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0551-3>
- Elhami, B., Akram, A., & 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)
11. Faryadi, Sh. (2004). Proposing the principles and rules of sustainable urban design in the process of globalization. *Journal of Environmental Science*, 99. (In Persian)
 12. Karamoz, M., Ahmadi, A., & Nazif, S. (2006). *Challenges and opportunities of applying models for optimal operation of water resources systems*. The first regional conference of exploiters of water resources in Karun and Zayandehrud basins, Shahrekord University. (In Persian)
 13. Khoshaghlagh, R., Sharifi, A., & Kochakzade, M. (2005). Economic evaluation of solar energy use compared to diesel energy. *Iranian Journal of Economic Research*, 7(24), 171-192. (In Persian)
 14. Khoshnavaz, S. (2019). 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). <https://doi.org/10.22059/IJSWR.2019.281948.668217>
 15. Kaltsas, AM., Mamolos, AP., Tsatsarelis, CA., Nanos, GD., & Kalburtji, KL. (2007). Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122(2), 243-251. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.017>
 16. Mirzaie, Sh., Zakerinia, M., Shahabifar, M., & 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) <https://doi.org/10.22055/JISE.2017.13261>
 17. Medina, A., Flores, F., Cardenas, L., & Fuentes, L. (2020). Optimal design of the water-energy-food nexus for rural communities. *Computers and Chemical Engineering*, 143, 107-120. <https://doi.org/10.3390/en15239045>
 18. 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)
 19. Parvareshrizi, A., & 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)
 20. Pormohamad, Y., Mosavibaigi, M., Alizadeh, A., & Ziay, A. (2017). Estimation of water productivity of major crops in Neishabour plain and optimization of crop area. *Journal of Water and Soil*, 1(31), 112-126. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/JWSD.V8I1.88854>
 21. Radmehr, R., Ghorbani, M., & Ziaei, A.N. (2020). Quantifying and managing the water-energy-food nexus in dry regions food insecurity: New methods and evidence. *Agricultural Water Management*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106588>
 22. Sadeghi, K., Sojodi, S., & Ahmadzadh, F. (2017). The impact of renewable energy on economic growth and environmental quality in Iran". *Journal of Energy Policy and Planning Research*, 6, 171-202. (In Persian)
 23. Safaee, V., Davary, K., & Pourmohammad, Y. (2019). Necessity water, energy, and food nexs based on the strategic plan for sustainable development. *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(2), 9-14. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JWSD.V6I2.72591>
 24. Saidi, P., Mazhari, R., & Valian, H. (2012). Invektstigating the relationship between inflation rate and interest rate based on Fisher's theory in Iranian economy. *Journal of Financial Knowledge, Securities Analysis*, 5(13), 83-97. (In Persian)
 25. Sharifi, A., Kiani, Gh., Khoshakhlagh, R., & Bagheri, M. (2012). Evaluating the replacement of renewable energy instead of fossil fuels in Iran: An optimal control approach. *The Journal of Economic Modeling Research*, 11, 123-140. (In Persian)
 26. Sharifimoghadam, A., Sadeghi, H., Delavar, M., & Zarghami, M. (2014). *Water-food-energy Nexs in agricultural water resources management in Shazand watershed*. 14th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran. (In Persian)
 27. Slami, G., Darzi, A., & Emadi, A. (2018). *Assessment of water resources and agricultural water consumption in Babol plain*. The Second National Conference on Science and Technology of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran.
 28. Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., & Soltani, E. (2013). Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan. 50, 54-61.
 29. Taghinazhad, J., Vahedi, A., & 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 with English abstract). <https://doi.org/10.29252/envs.17.3.137>
 30. Yousefi, Z., Vahedi, A., & Askari-Bozayeh, F. (2020). 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 with English abstract). <https://doi.org/10.22092/erams.2020.343427.1359>
 31. Yue, G., Zhang, F., Wang, Y., Zhang, X., & Guo, P. (2020). Fuzzy multi-objective modelling for managing water-food-energy-climate change-land nexus towards sustainability. *Journal of Hydrology*, 1-47.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125704>