

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

خدیجه عبدی رکنی - سمیه شیرزادی لسکو کلاهی - حمید امیرنژاد

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری - هیات علمی - گروه اقتصاد کشاورزی

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 سبب بهینه مصرف انرژی در اراضی کشاورزی به‌گونه‌ای 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 ۰/۴۰، ۰/۳۴، ۰/۱۴ و ۰/۱۲ در هکتار را به‌عنوان مقادیر بهینه پیشنهاد می‌کند. با اجرای الگوی پیشنهادی، سود زارعین منطقه به‌ازای هر هکتار از ۱۴۷۷۶/۲۱ به ۱۴۷۷۸/۱۸ میلیون ریال نسبت به وضعیت عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر در الگوی جاری، افزایش می‌یابد. سبب بهینه مصرف انرژی به‌صورت ترکیب به‌کارگیری انرژی خورشیدی و انرژی فسیلی، ۲۵۱۸ کیلووات ساعت به‌دست آمد، که از این مقدار، ۷۹ درصد به انرژی فسیلی و ۲۱ درصد به انرژی خورشیدی اختصاص دارد. همچنین، براساس نتایج، با انتخاب سیستم پمپ ترکیبی فسیلی-خورشیدی و همچنین کاهش سطح کشت طارم و شیروودی و افزایش سطح سویا و ذرت نسبت به الگوی فعلی منطقه در شرایط عدم استفاده از انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان منبع سوخت آبیاری، ۹ درصد از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و ۱۰ درصد در میزان مصرف انرژی صرفه‌جویی 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 به‌سزایی داشته باشد.

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

مقدمه

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 به‌عنوان مسأله‌ای مهم در همه زیر ساخت‌های اقتصاد اعم از صنعت، خدمات و کشاورزی جهان مطرح می‌کند (Omran, 2013). استفاده بهینه از منابع انرژی یک روش ممکن برای کاهش زیان‌های محیط‌زیستی در تولید مواد غذایی محسوب می‌شود که صرفه‌جویی مالی، حفظ منابع فسیلی و کاهش آلودگی هوا را به ارمغان می‌آورد (Pormohamad et al., 2008). گرم‌شدن کره زمین، کاهش

عملکرد محصولات کشاورزی، تغییرات آب و هوایی و باران‌های اسیدی نتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد. 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 موردنیاز بخش کشاورزی و میزان به‌کارگیری 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 به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم از انرژی خورشیدی مشتق می‌گردند. انرژی نو شامل انرژی خورشیدی، باد، بیومس، زمین گرمایی و انرژی آبی می‌باشد. مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر در مقایسه با انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌تواند 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 آن 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 دی اکسید 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

¹ Data Envelopment Analysis

² Structural Vector Autoregressive

۱ سهم این نوع انرژی از کل انرژی تولیدی کشور افزایش یابد. میرزایی و همکاران (Mirzaie et al., 2017) با هدف حداکثرسازی
۲ میزان سود خالص کشاورزان با استفاده از الگوریتم ژنتیک به تعیین الگوی کشت بهینه در شبکه آبیاری سد گلستان پرداختند.
۳ نتایج این تحقیق نشان داد الگوی کشت فعلی منطقه بهینه نبوده و در صورت استفاده از الگوی کشت پیشنهادی در این
۴ تحقیق میزان سود در کشت پاییزه و تابستانه، میزان سود به ازای هر هکتار زمین به ترتیب ۴۷ و ۵۷ درصد نسبت به الگوی
۵ کشت فعلی افزایش یافته است. پرورش‌ریزی و اشرف‌زاده (Parvareshrizi and Ashrafzadeh, 2018) جهت تحلیل
۶ هزینه‌های دوره عمر در سامانه‌های پمپاژ خورشیدی و دیزلی در مورد محصول انگور در منطقه کاشمر به طراحی و انتخاب
۷ پمپ آب کشاورزی در یک سیستم فتوولتائیک با توجه به شرایط بومی پرداختند. طبق نتایج، پمپ خورشیدی در این طرح
۸ آبیاری می‌تواند فقط برای توان کمتر از ۴/۵ وات با پمپ دیزلی رقابت کند، مگر اینکه یارانه متعلق به سوخت دیزل کاهش
۹ یابد. تقی‌نژاد و همکاران (Taghinazhad et al., 2019) مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و انتشار گازهای گلخانه‌ای
۱۰ نهاده‌های مصرفی برای تولید گندم آبی در استان اردبیل مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد کل انتشار CH_4 ، N_2O و
۱۱ CO_2 از مزرعه‌های گندم آبی به ترتیب ۵۱۷/۱۴، ۱/۶۵ و ۱۲۷۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار بود. سود خالص حاصل از تولید گندم آبی
۱۲ نیز ۲۳۶۹۱۲۹۹ ریال بود که نشان دهنده توجیه اقتصادی تولید گندم آبی در استان اردبیل بود. خوش نواز (Khoshnava, 2020)
۱۳ به منظور حداکثر نمودن سود و حفظ منابع آب، الگوی کشت شبکه آبیاری میان آب دشت شوشتر را مورد بررسی قرار
۱۴ داد. نتایج نشان داد کاربرد برنامه بهینه موجب کاهش سالانه ۷ میلیون متر مکعب در تخصیص آب و افزایش بیش از پنج
۱۵ میلیارد تومان در سود خالص کل الگوی دشت می‌گردد. تحلیل فازی سیستم توسعه داده شده نشان داد با کاهش ۲۵ درصدی
۱۶ آبیاری بهینه، بهره‌وری اقتصادی آب حداقل ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت. یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2021)
۱۷ به بررسی الگوهای مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزارع چغندرقد روستای حسین آباد شهرستان شیروان،
۱۸ پرداخته‌اند. نتایج نشان داد، که انرژی ورودی و خروجی مزارع چغندرقد به ترتیب ۶۶۸۷۹/۵۲ و ۱۳۱۵۷۱/۵۰ مگاژول در هکتار
۱۹ است. میزان انتشار گازهای CO_2 ، N_2O و CH_4 به ترتیب ۲۴۶۳/۰۴، ۲۱/۱۰ و ۳/۲۶ کیلوگرم در هکتار بود و میزان پتانسی
۲۰ گرمایش جهانی این گازها ۹۰۴۸ معادل کیلوگرم CO_2 محاسبه گردید.

۲۱ از مطالعات خارجی، بارتزاس و کمینیتساس (Bartzas and Komnitsas, 2018) با هدف ارزیابی عملکرد انرژی تولید پسته
۲۲ آبی در یونان از نظر تقاضای انرژی بر اساس این نتایج، افزایش ۱۰ درصدی انرژی مصرفی از کودهای معدنی و ماشین آلات
۲۳ کشاورزی به ترتیب منجر به افزایش ۳/۸ درصدی و ۲/۴ درصدی در عملکرد پسته خواهد شد. در حالی که افزایش ۱۰
۲۴ درصدی نیروی کار انسانی و سوخت دیزل منجر به کاهش تولید به ترتیب ۰/۹ درصد و ۰/۴ درصد می‌شود. نیروی انسانی و
۲۵ سوخت دیزل نشان می‌دهد تلاش بیشتر انسان و مصرف سوخت دیزل منجر به کاهش عملکرد پسته می‌شود. آلام و همکاران
۲۶ (Alam et al., 2019) بررسی میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای در اثر تغییر تولید شالی غرقابی به نشاء غیرپوک‌های پرداختند.
۲۷ ارزیابی نتایج نشان داد انتشار گازهای گلخانه‌ای ۳۱ درصد در مقایسه با نشاء غرقابی فعلی کاهش خواهد یافت. همچنین
۲۸ صرف نظر از شیوه‌های استقرار شالی، CH_4 شایع‌ترین انتشار گازهای گلخانه‌ای بود که ۶۳ تا ۶۷ درصد از کل گازهای
۲۹ گلخانه‌ای را شامل می‌شود. مدینا و همکاران (Medina et al., 2020) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه با
۳۰ هدف عملکرد بهینه سیستم‌های آب، انرژی و غذا و کاهش انتشار برای جوامع کشاورزی مکزیک که از فناوری‌های انرژی
۳۱ تجدیدپذیر برای تولید محصولات غذایی و انرژی استفاده می‌کنند مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از بهبود قابل قبولی

در ابعاد اجتماعی و زیست محیطی با حفظ شاخص اقتصادی می‌باشد. آداما و همکاران (Adama et al., 2020) به منظور 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 زمینه‌ی 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 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 شیرودی، 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 زیر کشت 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 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 of Jahad of babol city, 2021). شهرستان بابل یکی از مناطق عمده تولید شالی در استان مازندران با متوسط سطح زیر کشت حدود ۴۵۷۹۸ هکتار می‌باشد، که شالی در آن به صورت نشاکاری و تحت آبیاری غرقابی کشت می‌شود. محصولات ذرت و سویا به لحاظ پایداری کشاورزی منطقه، امنیت غذایی، مشکلات کمتر به لحاظ 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 of Jahad 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^۳ 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 مطالعه در قالب دو هدف حداکثرسازی 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: حداکثرسازی سود

³ Multi-objective programming

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).

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

در رابطه ۲، 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^۴ جهت تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به برق مورد استفاده در سیستم آبیاری می‌باشد (Medina et al., 2020).

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

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 مصرف سیستم پمپ می‌باشد. η_{DG} و PF_t^{DG} ضریب عملکرد سیستم فسیلی در زمان t و میزان راندمان سیستم فسیلی می‌باشند. و در نهایت $C_{i,t}^{\text{product}}$ 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.

⁴ Inverter

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

✓ هدف دوم: حداقل سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای

دومین هدف مورد نظر مطالعه حاضر حداقل سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. جهت تامین این هدف، از ضرایب 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 (el hani 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.

جدول ۱- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های کشاورزی

Table 1- Greenhouse gas emission coefficients of agricultural inputs

مرجع Reference	ضریب انتشار گلخانه‌ای (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر واحد) Greenhouse gas emission (kg CO ₂ eq unit ⁻¹)	نهاده (واحد) Inputs
(Lai, 2004)	۱/۳	کود نیتروژن (کیلوگرم) Nitrogen Fertilizers
(Lai, 2004)	۰/۲	کود فسفات (کیلوگرم) Phosphorus Fertilizers
(Lai, 2004)	۰/۲	کود پتاسیم (کیلوگرم) Potassium Fertilizers
(Dyer and Desjardins, 2003)	۲/۷۶	سوخت (لیتر) fuel
(Dyer and Desjardins, 2003)	۰/۰۷۱	روغن (لیتر) oil
(Lai, 2004)	۵/۱	سموم شیمیایی (لیتر) Chemical poisons

لازم به توضیح است که بار انتشار CO_2 توسط فعالیت‌های کشاورزی، از طریق استفاده از کود، سموم دفع آفات، ماشین‌آلات 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 حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 ناشی از مصرف سوخت فسیلی، کود و سموم شیمیایی و روغن مورد استفاده در موتور پمپ کشاورزی، 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).

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

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

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

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

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_{oil} ، ε_{DG} ، ε_{PE} ، ε_{FT} 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

۱ زراعی برای محصول i و سم مورد استفاده در زمین‌های زراعی برای هر محصول i می‌باشند. ϑ_{FT} و σ^{CH_4} ضریب
 ۲ انتشار گاز گلخانه‌ای N_2O ناشی از مصرف کود شیمیایی در سطح مزارع و بار انتشار CH_4 در سطح شالیزار می‌باشد.
 ۳ محدودیت‌های مدل نیز شامل انرژی، جریان انرژی، آب، کود، سرمایه و زمین می‌باشند که در ادامه معرفی خواهند شد.

۱- محدودیت انرژی

$$P^{PS} \leq (1 - EL)[P^{PV} + P^{DG} + P^{BS}] \quad (۹)$$

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

۲- محدودیت جریان انرژی

$$P^{PV} \leq C^{PV} \cdot PY^{PV} \quad (۱۰)$$

$$PF^{PV} = CF_{PV} \cdot h \quad (۱۱)$$

$$P^{DG} \leq C^{DG} \cdot PY^{DG} \quad (۱۲)$$

$$PF^{DG} = CF_{DG} \cdot h \quad (۱۳)$$

۱۰ که CF ، PY و h به ترتیب برابر ضریب عملکرد، ضریب ظرفیت تکنولوژی تولید انرژی (پنل فتوولتائیک و سیستم فسیلی) و
 ۱۱ زمان کارکرد فن‌آوری‌های مذکور جهت تولید برق سالانه می‌باشند. روابط (۱۰) و (۱۲)، محدودیت‌های مربوط به میزان تولید
 ۱۲ انرژی به ترتیب از فن‌آوری‌های تولید انرژی پنل فتوولتائیک و سیستم فسیلی می‌باشد که قسمت چپ روابط مذکور بیانگر
 ۱۳ حداکثر تولید انرژی عملیاتی است. هر فن‌آوری تولید انرژی دارای یک ظرفیت اسمی (عدد ثبت شده در پلاک نصبی تجهیز)
 ۱۴ است که در حالت عملیاتی درصدی از این ظرفیت بالفعل شده و قابل عملیاتی شدن است و این درصد با توجه به ضریب
 ۱۵ عملکرد آن تعیین می‌شود. روابط (۱۱) و (۱۳) نیز مربوط به محدودیت تعیین میزان ضریب عملکرد فن‌آوری‌های تولید انرژی
 ۱۶ به ترتیب پنل فتوولتائیک و سیستم فسیلی می‌باشد که با توجه به ظرفیت اسمی و زمان عملکرد هر فن‌آوری تعیین می‌شود
 ۱۷ (Medina et al., 2020).

۳- محدودیت آب

$$\sum_{i=1}^I Wa_i \cdot A_i \leq Wa_{TOT} \quad (۱۴)$$

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

۴- محدودیت کود

$$\sum_{i=1}^I FT_i \cdot A_i \leq [FTT]_{TOT} \quad (۱۵)$$

۲۱ در رابطه ۱۵، FT_i مقدار کود موردنیاز برای یک هکتار محصول i ام و $[FTT]_{TOT}$ کل کود موجود می‌باشند (Yue et al.,
 ۲۲ 2020).

۵- محدودیت سرمایه

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T Ca_{i,t} \cdot A_i \leq Ca_{TOT} \quad (۱۶)$$

در رابطه ۱۶، مقدار سرمایه مورد نیاز برای کشت یک هکتار محصول A_m در زمان t ام و Ca_{TOT} کل سرمایه موجود می باشد. منظور از سرمایه، کل هزینه های نهاده های به کار گرفته شده که شامل هزینه های کود، نیروی کار، ماشین آلات، سموم شیمیایی، آب و سایر نهاده های مورد نیاز برای کشت هر محصول را نشان خواهد داد (Yue et al., 2020).

۶- محدودیت زمین

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

که در رابطه مذکور، A_i و A_{TOT} به ترتیب میزان سطح کل کشت محصولات کشاورزی و میزان سطح کشت محصول A_m 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 گلخانه ای (ناشی از مصرف کود و سموم شیمیایی و مصرف سوخت فسیلی) مشروط به محدودیت های 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 انرژی های فسیلی، خورشیدی پنل، خورشیدی باتری و خورشیدی اینورتر، ظرفیت تولید انرژی سیستم پمپ، میزان تولید برای انرژی های سوخت فسیلی، خورشیدی پنل، خورشیدی باتری، خورشیدی اینورتر، سیستم پمپ و سطح زیرکشت محصولات تخصیص داده شده می باشند که در قالب مجموعه جواب ها 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^۵ به کار گرفته شده در مطالعه حاضر، به عنوان یکی از روش های کارآمد برای حل مسائل چندهدفه مطرح است و کارایی بالاتری نسبت به روش های سنتی همچون روش وزنی دارد. با توجه به اینکه در این روش، مجموعه ای از راه حل های پارتو ایجاد می شود، از این رو سیاست گزاران می توانند در انتخاب بهترین راه حل، آزادی عمل بیشتری داشته باشند (Radmehr et al., 2021). در این روش، برای حل مدل، لازم است با انتقال تمامی توابع هدف به جز یکی از اهداف به بخش محدودیت ها، اقدام به حل مدل نمود. سرانجام با توجه به مجموعه جواب های پارتو به دست آمده از روش حل مدل چندهدفه و با استفاده از شاخص های پایداری انرژی جهت دستیابی به راه حلی که بتواند مدیریت پایدار منابع انرژی منطقه را به خوبی نتیجه دهد تصمیم گیری نهایی انجام خواهد شد. بر اساس یافته های ال کافی (۲۰۱۷)، شاخص های پیوند انرژی (E) به عنوان ابزاری کارآمد برای ارزیابی مدیریت پایدار مورد استفاده قرار می گیرد. از اینرو، در این پژوهش، شاخص مصرف انرژی، شاخص های بهره وری اقتصادی انرژی، بهره وری فیزیکی انرژی و بهره وری زیست محیطی انرژی مورد استفاده قرار گرفت (Radmehr et al., 2021).

شاخص مصرف انرژی؛ این شاخص کل انرژی مصرف شده را نشان می دهد. واحد این شاخص کیلووات ساعت می باشد. علامت قطبیت این شاخص منفی می باشد (هرچه کمتر باشد، بهتر است) (Radmehr et al., 2021).

⁵ Epsilon Constraint Method

⁶ Energy Consumption

۱ شاخص بهره‌وری اقتصادی انرژی^۷: این شاخص مقدار منفعت اقتصادی به دست آمده به ازای یک واحد انرژی مصرف
۲ شده را نشان خواهد داد. واحد این شاخص ریال به کیلووات ساعت است. علامت قطبیت این شاخص مثبت می‌باشد (هرچه
۳ بیشتر باشد، بهتر است) (Radmehr et al., 2021).

۴ شاخص بهره‌وری فیزیکی انرژی^۸: این شاخص مقدار تولید حاصل شده به یک واحد انرژی مصرف شده را نشان
۵ می‌دهد. واحد این شاخص کیلوگرم به کیلووات ساعت می‌باشد. علامت قطبیت این شاخص مثبت می‌باشد (هرچه بیشتر باشد،
۶ در تصمیم‌گیری بهتر است) (Radmehr et al., 2021).

۷ شاخص بهره‌وری محیط‌زیستی^۹: این شاخص مقدار تولید حاصل شده به انتشار گاز گلخانه‌ای را نشان خواهد داد. واحد
۸ این شاخص کیلوگرم به تن CO₂ می‌باشد. علامت قطبیت این شاخص مثبت می‌باشد (هرچه بیشتر باشد، در تصمیم‌گیری
۹ بهتر است) (Radmehr et al., 2021).

۱۰ در ادامه از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس^{۱۰} برای انتخاب بهترین جواب از میان مجموعه پارتو بر اساس شاخص‌های
۱۱ پیوند انرژی استفاده خواهد شد. این راه‌حل در هفت مرحله اصلی انجام می‌شود (Radmehr et al., 2021):

۱۲ ✓ ساختن ماتریس تصمیم

۱۳ ✓ محاسبه ماتریس نرمال شده ماتریس تصمیم

۱۴ ✓ محاسبه ماتریس وزنی نرمال شده

۱۵ ✓ معرفی گزینه‌های ایده‌آل مثبت (A+) و ایده‌آل منفی (A-)

۱۶ ✓ محاسبه فاصله هر درایه از هر یک از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی

۱۷ ✓ محاسبه یک شاخص Ci برای محاسبه بهترین راه‌حل از میان راه‌حل‌های موجود

۱۸ ✓ رتبه‌بندی راه‌حل‌ها

۱۹ راه‌حلی که بالاترین ارزش Ci را داشته باشد، به عنوان بهترین راه‌حل انتخاب می‌شود.

۲۰ جامعه آماری موردنظر در این مطالعه، زارعین منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل می‌باشند. داده‌های مربوط به بخش زراعی
۲۱ پژوهش حاضر از جمله سرمایه، زمین، آب، کود و..... از طریق اداره جهاد کشاورزی منطقه، در سال ۱۴۰۰ به صورت خام جمع
۲۲ آوری شد. اطلاعات فنی و اقتصادی نیز به صورت عمده از مراجع معتبر داخلی همانند دفتر برنامه‌ریزی جامع انرژی وزارت
۲۳ نیرو، برنامه‌ریزی کلان انرژی کشور در قسمت حامل‌های انرژی وزارت نفت، برنامه جامع انرژی‌های تجدیدپذیر کشور
۲۴ (سازمان ساتبا)، دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا و آمارهای بین‌المللی انرژی در سال ۱۴۰۰ تأمین شد. همچنین جهت برآورد
۲۵ نتایج مدل چندهدفه با روش اسپیلون محدودیت، از نرم‌افزار Matlab و برای برآورد نتایج بخش تصمیم‌گیری چندمعیاره
۲۶ تاپسیس از نرم افزار اکسل استفاده شد.

۲۷ نتایج و بحث

۲۸ بر اساس مطالب از پیش ارائه شده در این مطالعه برای تعیین الگوی بهینه کشت و سبب بهینه مصرف انرژی از مدل برنامه
۲۹ ریزی ریاضی چندهدفه استفاده شده است، که در گام نخست، مجموعه‌ی نقاط بهینه پارتو (ماتریس تاوان^{۱۱})، با لحاظ دو

7 Economic Energy Productivity

8 Physical Energy Productivity

9 Environmental Productivity

10 Multi-criteria decision making of TOPSIS

11 . Pay-off Matrix

هدف حداکثرسازی منافع اقتصادی و حداقل سازی 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.

جدول ۲- حداکثر و حداقل اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی

Table 1- Pay-off matrix of economic and environmental goals for each solution

هدف محیط‌زیستی (کیلوگرم CO ₂) Environmental purpose (kg CO ₂)	هدف اقتصادی (میلیون ریال) Economic goal (million Rials)	
2651	11281.21	حداکثر مقدار Maximum amount
2890	15371.30	حداقل مقدار minimum amount

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در ادامه، با بکارگیری روش اسپیلون محدودیت^{۱۲} 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 اسپیلون لحاظ شده است). دامنه بین دو مقدار حداکثر و حداقل تابع هدف محیط‌زیستی در جدول ۲ برای بدست آوردن ارزش‌های اسپیلون، به ده نقطه تقسیم شده است. الگوی بهینه با هدف حداکثرسازی منافع اقتصادی با در نظر گرفتن مقادیر مختلف ارزش اسپیلون، 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 به ترتیب نشان‌دهنده حداقل انتشار گازهای گلخانه‌ای و حداکثر سود اقتصادی می‌باشد.

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

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

هدف محیط‌زیستی (کیلوگرم CO ₂) Environmental purpose (kg CO ₂)	هدف اقتصادی (میلیون ریال) Economic goal (million Rials)	راه‌حل solution
2651	11281.21	A1
2677	12314.49	A2
2704	12931.24	A3
2730	13467.10	A4
2757	13839.77	A5
2783	14055.46	A6
2810	14400.67	A7
2836	14778.18	A8
2863	15074.74	A9
2890	15371.30	A10

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتیجه مهمی که می‌توان از جدول ۳، به دست 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 به دنبال 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 نشان‌دهنده تعداد شاخص‌ها و m راه‌حل‌های پارتو می‌باشد). در این مطالعه از شاخص‌های پیوند انرژی 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

¹² Epsilon Constraint Method

تشکیل شد. جدول (۴)، مقدار هریک از شاخص‌های انرژی را در هریک از راه‌حل‌های پارتو نشان می‌دهد که مجموع این شاخص‌ها ماتریس تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین راه‌حل را ارائه می‌دهد.

جدول ۴- ماتریس تصمیم شاخص‌های برای نقاط پارتو

Table 3 - Indicator decision matrix for Pareto points

بهروری محیطزیستی (کیلوگرم/کیلوگرم co2) Environmental productivity (kg / kg co2)	بهروری فیزیکی انرژی (کیلوگرم/کیلووات ساعت) Physical energy productivity (kg / kWh)	بهروری اقتصادی انرژی (ریال / کیلووات ساعت) Economic energy productivity (Rials / kWh)	مصرف انرژی (کیلووات ساعت) Energy consumption (kwh)	راه‌حل sol ut i on
2.59	3.12	5110123	2207	A ₁
2.39	2.78	5360452	2297	A ₂
2.28	2.62	5492947	2354	A ₃
2.55	2.89	5569730	2417	A ₄
2.42	2.71	5632358	2457	A ₅
2.09	2.36	5681777	2473	A ₆
2.02	2.27	5753404	2502	A ₇
2.77	3.125	5668451	2518	A ₈
1.93	2.16	5890484	2559	A ₉
1.92	2.13	5911824	2600	A ₁₀

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در گام دوم روش تاپسیس جهت نرمال‌سازی شاخص‌های موجود در ماتریس تصمیم هر یک از مقادیر بر اندازه بردار مربوط به همان 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 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 4 - Normal decision matrix for Pareto points

بهروری محیطزیستی (کیلوگرم/کیلوگرم co2) Environmental productivity (kg / kg co2)	بهروری فیزیکی انرژی (کیلوگرم/کیلووات ساعت) Physical energy productivity (kg / kWh)	بهروری اقتصادی انرژی (ریال / کیلووات ساعت) Economic energy productivity (Rials / kWh)	مصرف انرژی (کیلووات ساعت) Energy consumption (kwh)	راه‌حل sol ut i on
0.354	0.372	0.286	0.285	A ₁
0.326	0.333	0.300	0.297	A ₂
0.311	0.313 ^۳	0.308	0.304	A ₃
0.349	0.345	0.312	0.313	A ₄
0.330	0.324	0.316	0.318	A ₅
0.282	0.282	0.319	0.320	A ₆
0.276	0.272	0.323	0.324	A ₇
0.378	0.373	0.329	0.326	A ₈
0.263	0.258	0.330	0.331	A ₉
0.262	0.255	0.331	0.336	A ₁₀

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۶- رتبه‌بندی راه‌حل‌ها

Table 5 - Ranking of solutions

رتبه Ranking	C_i	راه‌حل solutions
3	0.67	A ₁
5	0.55	A ₂
6	0.45	A ₃

2	0.72	A ₄
4	0.59	A ₅
7	0.31	A ₆
8	0.28	A ₇
1	0.94	A ₈
10	0.28	A ₉
9	0.29	A ₁₀

مأخذ: یافته‌های تحقیق

بر اساس نتایج جدول ۶، راه‌حل هشتم A₈ 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 این‌رو، راه‌حل A₈ به‌عنوان 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.

جدول ۷- سبد مصرف انرژی و الگوی بهینه محصولات

Table 6 - Energy consumption basket and optimal product pattern

درصد تغییرات Percentage of changes	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	محصولات Products	راه‌حل A ₈ Solution A ₈
0.41	0.40	شالی طارم (h) Tarom rice (h)		
0.48	0.34	شالی شیروودی (h) Shiroodi rice (h)		سطح زیرکشت
0.05	0.14	سویا (h) Soybean (h)		Area under cultivation
0.05	0.12	ذرت (h) Corn (h)		
0	0.22	ظرفیت تولید انرژی خورشیدی پنل (kw) Solar panel production capacity (kw)		
0	518	میزان تولید انرژی خورشیدی پنل (kwh) Solar panel production rate (kwh)		
0	0.35	ظرفیت تولید انرژی خورشیدی باتری (kw) Battery solar power generation capacity (kw)		
0	310	میزان تولید انرژی خورشیدی باتری (kwh) Battery solar power generation (kwh)		
0	0.60	ظرفیت تولید انرژی خورشیدی اینورتر (kw) Inverter solar power generation capacity (kw)		
0	466	میزان تولید انرژی خورشیدی اینورتر (kwh) Inverter solar energy production rate (kwh)		
0.46	0.32	ظرفیت تولید انرژی فسیلی (kw) Fossil energy production capacity (kw)		
2829	2000	میزان تولید انرژی سوخت فسیلی (kwh) Fossil fuel energy production (kwh)		
0.57	0.50	ظرفیت مصرف انرژی سیستم پمپ (kw) Pump system power consumption capacity (kw)		
2518	2227	میزان مصرف انرژی سیستم پمپ (kwh) Pump system energy consumption (kwh)		

هدف حداکثر سود (میلیون ریال)
Maximum profit goal (million rials)

هدف حداقل انتشار گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم CO₂)
Minimum greenhouse gas emissions goal
(kg CO₂)

14776.21 14778.18

3145 2836

۱ مآخذ: یافته‌های تحقیق

۲ همان‌گونه که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، در شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر (شرایط فعلی)، از میان محصولات مورد

۳ مطالعه، شالی شیروودی بیش‌ترین سهم را در الگوی کشت جاری به‌خود اختصاص داد. که علت آن می‌تواند به‌دلیل همواره

۴ فراهم‌بودن بازار خرید و فروش این رقم و عملکرد بالای این محصول نسبت به سایر ارقام باشد. با توجه به اینکه در سال

۵ جاری قیمت آن با رقم مرغوب اختلاف زیادی نداشته و کشاورز همواره به‌دنبال حداکثر سود می‌باشد، انگیزه برای کشت این

۶ رقم افزایش یافته است (بدون توجه به آسیب‌های محیط‌زیستی به‌دلیل سنتی‌بودن شیوه تولید شالی در منطقه). هم‌چنین،

۷ شالی طارم به‌دلیل کیفیت بیشتر این نوع شالی و مصرف خانگی این محصول، رتبه بعدی در کشت محصولات را به‌خود

۸ اختصاص داد. ذرت و سویا با سطح کشت ۰/۰۵ و ۰/۰۵ هکتار رتبه بعدی را به‌خود اختصاص دادند (باقی محصولات که

۹ سطح کشت ناچیزی داشتند و محصولاتی که بصورت دیم کشت می‌شوند، از مطالعه حذف شدند). نتیجه دیگری که می‌توان

۱۰ از بررسی وضعیت فعلی منطقه به‌دست آورد این است که کشت محصولات در این منطقه متکی بر انرژی تجدیدناپذیر

۱۱ می‌باشد، که می‌تواند در صورت مدیریت ناصحیح، محیط‌زیست منطقه را تهدید کند. این مسئله نشان‌دهنده اهمیت برنامه‌ریزی

۱۲ در خصوص مدیریت انرژی در این منطقه می‌باشد.

۱۳ با توجه به اینکه در مطالعه حاضر تعیین الگوی کشت بهینه با تاکید بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش سود

۱۴ مورد بررسی قرار گرفت، مدل در وضعیت لحاظ انرژی تجدیدپذیر، پیشنهاد می‌کند که چهار نوع محصول شالی طارم، شالی

۱۵ شیروودی، سویا، و ذرت به‌ترتیب با سطح کشت ۰/۴۰، ۰/۳۴، ۰/۱۴ و ۰/۱۲ در هکتار کشت شوند. همان‌طور که مشاهده می

۱۶ شود مطابق با خروجی‌های مدل بهینه با لحاظ انرژی تجدیدپذیر، بخش عمده زمین‌های تحت کشت، به شالی رقم طارم و

۱۷ شیروودی اختصاص می‌یابد. کاهش سطح کشت رقم شیروودی بیشتر از کاهش سطح کشت شالی طارم است. شالی شیروودی

۱۸ جزء ارقام پرمحصول می‌باشد، که به پمپاژ آب و کود بیشتر نیاز دارد، بنابراین وقتی مدل حداکثرسازی سود و کاهش انتشار

۱۹ گاز حاصل سوخت فسیلی و کود مدنظر باشد، طبیعی است که سطح کشت شیروودی بیشتر از سطح کشت رقم طارم کاهش

۲۰ یابد. اما به دلیل اینکه در پمپاژ آب آبیاری، انرژی خورشیدی جایگزین سوخت فسیلی شده است، درصد کاهش سطح کشت

۲۱ رقم شیروودی نسبت به رقم طارم چندان چشمگیر نیست و به نوعی مدل علاوه بر حفاظت انتشار گازهای گلخانه‌ای، سودآوری

۲۲ زارعین منطقه را نیز مورد توجه قرار داده است. با مشاهده شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر وضعیت فعلی، شالی طارم و

۲۳ شیروودی بیشترین میزان کشت را به‌خود اختصاص دادند، این در حالی است که این ارقام مصرف انرژی (جهت برداشت آب

۲۴ زیرزمینی) بالاتری نسبت به محصولات سویا و ذرت دارند. ولی از آنجا که کشاورزان منطقه چندسالی است که به‌دلیل بالا بودن

۲۵ نسبی سود این رقم نسبت به سایر محصولات، این محصول را به‌عنوان رقم غالب در الگوی کشت خود منظور نمودند، لذا

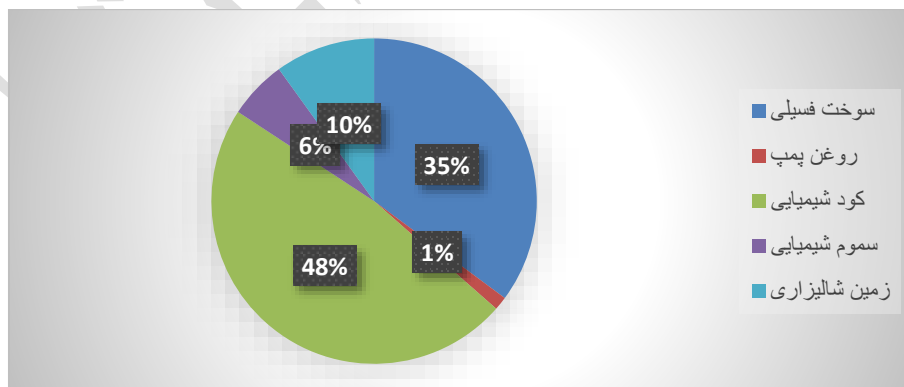
۲۶ مسلماً کشاورزان به‌دلیل ماهیت ریسک‌گریزی که دارند، اگر بخواهند در راستای کاهش مصرف انرژی قدمی بردارند، در

۲۷ درجه‌ی اول به درآمد گذشته‌ی خود می‌نگرند و رقمی را انتخاب می‌کنند که منافی همانند گذشته حاصل کند. لذا باقی‌ماندن

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 موردنیاز سیستم پمپ بوده است، که در الگوی بهینه در شرایط لحاظ انرژی تجدیدپذیر برابر ۲۵۱۸ کیلووات ساعت به دست آمد است. از ۲۵۱۸ کیلووات ساعت انرژی بدست آمده، ۷۹ درصد آن را انرژی فسیلی و ۲۱ درصد آن را، انرژی خورشیدی به خود اختصاص دادند. طبق محاسبات انجام شده در رابطه ۳، برای تأمین ۲۱ درصد (۵۱۸ کیلووات ساعت) برق خورشیدی موردنیاز سیستم آبیاری به منظور آبیاری یک هکتار، الگوی پیشنهادی مدل بهینه در منطقه مورد مطالعه، پنل خورشیدی با ظرفیت ۰/۲۲ کیلووات موردنیاز خواهد بود. ۵۱۸ 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 ۰/۳۵ کیلووات ذخیره می‌شود، و در مواقع لزوم (با فرض راندمان ۶۰ درصدی باتری)، ۳۱۰ کیلووات ساعت انرژی به سیستم پمپ منتقل می‌کند. با توجه به نتایج در شرایط بهینه برای آبیاری ۰/۴۰ هکتار شالی طارم، ۰/۳۴ هکتار شیروودی، ۰/۱۴ هکتار سویا و ۰/۱۲ هکتار ذرت به پمپی با قدرت موتور حدود ۲/۲ کیلووات ساعت با ترکیب ۷۹ درصد انرژی فسیلی و ۲۱ 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 به ازای هر هکتار از ۱۴۷۷۶/۲۱ به ۱۴۷۷۸/۱۸ میلیون ریال نسبت به وضعیت عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر در کل فصل زراعی، افزایش می‌یابد. یعنی در شرایط فعلی، افراد بدون توجه به میزان مصرف انرژی و هزینه‌های تولید، محصولات را کشت می‌کنند (سستی بودن شیوه تولید شالی توسط کشاورزان منطقه) در صورتی که با انتخاب الگوی درست، می‌توان منافع اقتصادی کشاورز را ۰/۱۳ 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

نتایج مطالعه نشان داد که به ازای کشت ۰/۴۰ هکتار شالی طارم، ۰/۳۴ هکتار شیروودی، ۰/۱۴ هکتار سویا و ۰/۱۲ هکتار ذرت، به میزان ۲۸۳۶ 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 ۹ درصد کاهش یافته

۱ است. در این حالت هر دو هدف یعنی افزایش سود و کاهش انتشار نسبت به شرایط فعلی تامین خواهد شد که نشان‌دهنده
۲ برتری مدل پیشنهادی می‌باشد. سهم هریک از نهاده‌های ورودی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در شکل ۱ قابل مشاهده است.
۳ سهم هر یک از نهاده‌ها از طریق ضرب مقدار نهاده‌های مصرفی در ضریب‌های انتشار مربوط به نهاده‌ها و سطح کشت
۴ محصولات به دست آمد. در بین فعالیت‌های مختلف، مصرف کود با میانگین ۱۳۵۴ کیلوگرم CO₂ در هکتار معادل ۴۸ درصد،
۵ بیشترین مقدار را از نظر انتشار دی‌اکسید کربن به خود اختصاص داد. در واقع به ازای کشت ۰/۴۰ هکتار شالی طارم، ۰/۳۴
۶ هکتار شیرودی، ۰/۱۴ هکتار سویا و ۰/۱۲ هکتار ذرت، با مصرف مقدار مشخصی کود، ۱۳۵۴ کیلوگرم CO₂ در هکتار منتشر
۷ خواهد شد. سوخت مصرفی برای پمپاژ آب آبیاری با میانگین ۹۹۷ کیلوگرم CO₂ در هکتار معادل ۳۵ درصد از کل انتشار، در
۸ رتبه دوم انتشار دی‌اکسید کربن قرار گرفت. در رتبه سوم، انتشار زمین‌های شالیزار با میانگین ۲۸۲ کیلوگرم CO₂ در هکتار
۹ معادل ۱۰ درصد، قرار گرفت. سموم شیمیایی و روغن مورد استفاده پمپ کشاورزی به ترتیب با میانگین ۱۶۵ کیلوگرم CO₂
۱۰ در هکتار معادل ۶ درصد و ۳۸ کیلوگرم CO₂ در هکتار معادل یک درصد، در جایگاه بعدی قرار گرفتند.
۱۱ با توجه به نتایج مدل بهینه (در راستای دستیابی به هدف کاهش انتشار) در مطالعه که کاهش ۲۱ درصدی سهم انرژی فسیلی
۱۲ در سبد مصرف انرژی مورد نیاز پمپاژ آب آبیاری را به همراه داشته است، الگوی کشت بهینه نیز به صورت ۰/۳ درصد کاهش
۱۳ سطح کشت طارم، ۲۷ درصد کاهش سطح کشت شیرودی، افزایش ۱۸۰ درصدی سطح کشت سویا و افزایش ۱۴۰ درصدی
۱۴ کشت ذرت و کاهش ۹ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر تغییر یافت. از نتایج
۱۵ می‌توان دریافت با انتخاب صحیح و بهینه میزان سطح زیرکشت محصولات، علاوه بر کاهش میزان انتشار گاز گلخانه‌ای
۱۶ می‌توان تا حدود ۱۰ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی و کاهش داشت. در واقع، با کاهش سطح کشت ارقام شالی (با توجه
۱۷ به سنتی بودن شیوه تولید شالی و مصرف بالای نهاده‌های تولید) و سوق دادن سطح کشت به سمت محصولات سویا و ذرت،
۱۸ 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،
۱۹ انتخاب الگوی پیشنهادی از نظر اقتصادی و محیط‌زیستی مقرون به صرفه و در راستای توسعه پایدار است.

نتیجه‌گیری

۲۱ در مطالعه حاضر سعی شد منافع کشاورزان با در نظر گرفتن حداکثر سود زراعی با تکیه بر استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر
۲۲ در سبد انرژی‌های مصرفی بخش کشاورزی (با کاهش میزان مصرف سوخت منابع انرژی فسیلی مورد استفاده)، در قالب
۲۳ تعیین الگوی کشت بهینه محاسبه و با شرایط فعلی مقایسه خواهد شد. نتایج نشان داد الگوی بهینه در شرایط لحاظ انرژی
۲۴ تجدیدپذیر، نسبت به شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر، برتری نسبی در دستیابی به اهداف مورد نظر مطالعه دارد، که با
۲۵ نتایج مطالعه [Kaltsas et al., 2007](#) مبنی بر بیشتر بودن مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی در نظام کاشت ارگانیک نسبت به
۲۶ نظام کاشت رایج، مطابقت دارد. همچنین، مشاهده شد که در حالت بهینه، رقم طارم بیشترین سطح کشت را به خود اختصاص
۲۷ داده که این امر می‌تواند سود بیشتر و آلاینده‌گی کمتر این محصول در مقایسه با سایر محصولات را نتیجه دهد. با توجه به
۲۸ نتایج الگوی چندهدفه، پیشنهاد می‌شود رقم طارم بیشترین سطح کشت را به خود اختصاص دهد و کشاورزان منطقه بهتر است
۲۹ با توجه به میزان منابع در اختیارشان، این محصول را جایگزین دیگر ارقام نمایند. نتایج این مطالعه با نتیجه‌ی اندک مطالعات
۳۰ مشابه انجام شده، مطابقت دارد. به عنوان مثال نتیجه مطالعه [Parvareshrizi and Ashrafzadeh, 2018](#) با هدف تحلیل

۱ فنی - اقتصادی آبیاری خورشیدی (مقایسه با منابع متداول انرژی در آبیاری)، نشان داد شرایط فعلی بهینه نبوده است و استفاده
 ۲ از ترکیب انرژی فسیلی و خورشیدی علاوه بر افزایش سود مقدار انتشار را کاهش می‌دهد. هدف کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای
 ۳ نیز در وضعیت استفاده از انرژی تجدیدپذیر ۹ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین با مطالعه [Dayer and Desjardins, 2003](#)
 ۴ مبنی بر کاهش در میزان مصرف سوخت‌های فسیلی باعث تقلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، مطالبقت دارد. در
 ۵ بخش دیگر نتایج میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۸۳۰ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار به دست آمد، که با مطالعه [Dastan et al., 2013](#)
 ۶ مبنی بر متوسط انتشار ناشی از تولید شالی را برابر ۲۳۰۷ کیلوگرم CO₂ در هکتار محاسبه نمودند، همسو می‌باشد.
 ۷ همچنین، عامل اصلی ایجادکننده انتشار گازهای گلخانه‌ای در این پژوهش مربوط به کود و سپس سوخت فسیلی می‌باشد، که
 ۸ با مطالعه [Soltani et al., 2013](#)، در بررسی خود به این نتیجه دست یافتند که سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی به
 ۹ ترتیب با ۴۵/۸ و ۲۲/۵ درصد باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند، هم راستا می‌باشد.
 ۱۰ بدیهی است پایان‌پذیری منابع فسیلی انرژی و ضرورت افزایش ارزش منابع خورشیدی و تبدیل آن به مواد با ارزش افزوده
 ۱۱ بالا ضرورت استفاده از این منابع انرژی در تأمین برق موردنیاز بخش‌های کشاورزی بالاخص در مواردی که نیازها فصلی
 ۱۲ بوده و بیشتر به فصل‌های آفتابی سال محدود می‌شود، محرز می‌نماید. به همین منظور، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گزاران
 ۱۳ کشاورزی از طریق ترویج استفاده انرژی خورشیدی در آبیاری و استفاده از این ظرفیت بزرگ در کشور، توجه کشاورزان نسبت
 ۱۴ به مزایای بالقوه انرژی خورشیدی (در بخش کشاورزی) و استفاده وسیع از آن، کاهش یارانه‌های فعلی کشاورزی در بخش
 ۱۵ انرژی فسیلی و تعلق یارانه به انرژی خورشیدی، تشویق بخش خصوصی به سرمایه‌گذاری در پروژه‌های خورشیدی به تأمین
 ۱۶ انرژی طرح‌های آبیاری کمک نمایند.

منابع

- ۱۸ 1. Adama G., Jimoh D., and Otache M. 2020, Optimization of Irrigation Water Allocation Framework
 ۱۹ Based on Genetic Algorithm Approach. Journal of Water Resource and Protection. Volume 12, 316-
 ۲۰ 329.
- ۲۱ 2. Agriculture Jahad of babol city, 2021.
- ۲۲ 3. Alam M., Bell R., and Biswas W. 2019, Increases in soil sequestered carbon under conservation
 ۲۳ agriculture cropping decrease the estimated greenhouse gas emissions of wetland rice using life cycle
 ۲۴ assessment. Journal of Cleaner Production. Volume 224 , Pages 72-87.
- ۲۵ 4. Ameri M., Magdsabeti A., and Norozi M. 2005. Economic Feasibility Study of Using Solar Pumps in
 ۲۶ Kerman Province ". 13th Annual Conference on Mechanical Engineering, Isfahan University of
 ۲۷ Technology. (in Persian)
- ۲۸ 5. Bartzas G., and Komnitsas K. 2018, Energy flow analysis in agriculture; the case of irrigated pistachio
 ۲۹ production in Greece. Sustainable Energy Technologies and Assessments. Volume 2:73-80.
- ۳۰ 6. Baghrian A., Saleh A., and Pikani Gh. 2007. Optimization of cultivation pattern in Kazerun region
 ۳۱ using linear programming method. The sixth biennial conference of the Iranian Agricultural Economics
 ۳۲ Association. Mashhad. 8 and 9 November. (in Persian)
- ۳۳ 7. Dayer J., and Desjardins L. 2003, The impact of farm machinery management on the greenhouse gas
 ۳۴ emissions from Canadian agriculture. Journal of Sustainable Agriculture. 22: 59-74.
- ۳۵ 8. Dastan S., Soltani A., Noor Mohammadi G.H., and Madani H. 2013, Global warming potential of
 ۳۶ carbon dioxide emissions and energy consumption in the paddy planting. Journal of Agricultural
 ۳۷ Ecology. 6(4) 823-835. (In Persian with English abstract).

- ١ 9. El-Gafy I. 2017, Water–food–energy nexus index: analysis of water–energy–food nexus of crop’s
٢ production system applying the indicators approach. *Applied Water Science*. 7(6): 2857-2868.
- ٣ 10. Elhami B., Akram A., and Khanali M. 2015, Optimization of energy consumption and reduction of
٤ greenhouse gas emissions in the production of blue lentils using data envelopment analysis
٥ method. *Iran Biosystem Engineering*. 47(4):701-710. (in Persian)
- ٦ 11. Faryadi Sh. 2004, Proposing the principles and rules of sustainable urban design in the process of
٧ globalization. *Journal of Environmental Science*. Page 99. (in Persian)
- ٨ 12. Karamoz M., Ahmadi A., and Nazif S. 2006. Challenges and opportunities of applying models for
٩ optimal operation of water resources systems. The first regional conference of exploiters of water
١٠ resources in Karun and Zayandehrud basins, Shahrekord University. (in Persian)
- ١١ 13. Khoshaghlagh R., Sharifi A., and Kochakzade M. 2005, Economic evaluation of solar energy use
١٢ compared to diesel energy. *Iranian Journal of Economic Research*. 7(24):171-192. (in Persian)
- ١٣ 14. Khoshnavaz s, 2020, Uncertainty analysis of water distribution planning in mian-ab irrigation network
١٤ in shooshtar plain: application of genetic algorithm and simulated annealing. *Iranian Journal of Soil
١٥ and Water Research*, 52(1): 152-163. (In Persian).
- ١٦ 15. Kaltsas AM, Mamolos AP, Tsatsarelis CA, Nanos GD and Kalburtji KL. 2007, Energy budget in
١٧ organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122(2): 243-251.
- ١٨ 16. Mirzaie Sh, Zakerinia M, Shahabifar M and Sharifan H. 2017, Determining optimum cropping pattern
١٩ using genetic algorithm (case study: Golestan dam irrigation and drainage network. *Irrigation Sciences
٢٠ and Engineering*. 40(3):181-190. (in Persian)
- ٢١ 17. Medina A., Flores F., Cardenas I., and Fuentes I. 2020, Optimal design of the water-energy-food
٢٢ nexus for rural communities. *Computers and Chemical Engineering*. Issue 143. 107-120.
- ٢٣ 18. Omrani A., 2013. Implementation of the cultivation model is an opportunity to address sustainable
٢٤ development and food security. *Agricultural Jihad of Sari city*. (in Persian)
- ٢٥ 19. Parvashrizi A., and Ashrafzadeh A. 2018, Technical-economic analysis of solar irrigation:
٢٦ Comparison with Conventional Energy Sources in Irrigation. *Journal of Energy Policy and Planning
٢٧ Research*. 4(11):201-228. (in Persian)
- ٢٨ 20. Pormohamad Y., Mosavibaigi M., Alizadeh A., and Ziaei A. 2017, Estimation of water productivity of
٢٩ major crops in Neishabour plain and optimization of crop area. *Journal of Water and Soil*. 1(31):112-
٣٠ 126. (in Persian)
- ٣١ 21. Radmehr R., Ghorbani M., and Ziaei A.N. 2021. Quantifying and managing the water-energy-food
٣٢ nexus in dry regions food insecurity: New methods and evidence. *Agricultural Water Management*. 119.
- ٣٣ 22. Sadeghi K., Sojodi S., and Ahmadzadh F. 2017, The Impact of Renewable Energy on Economic Growth
٣٤ and Environmental Quality in Iran ". *Journal of Energy Policy and Planning Research*. Issue 6: 171-
٣٥ 202. (in Persian)
- ٣٦ 23. Safaee V., Davary K., and Pourmohammad Y. 2019, Necessity Water, Energy, and Food Nexs Based
٣٧ on the Strategic Plan for Sustainable Development. *Journal of Water and Sustainable Development*.
٣٨ 6(2):9-14. (in Persian with English abstract)
- ٣٩ 24. Saidi P., Mazhari R., and Valian H. 2012, Invekstigating the relationship between inflation rate and
٤٠ interest rate based on Fisher's theory in Iranian economy. *Journal of Financial Knowledge, Securities
٤١ Analysis*. 5(13): 83-97. (in Persian)
- ٤٢ 25. Sharifi A., Kiani Gh., Khoshakhlagh R., and Bagheri M. 2012, Evaluating the Replacement of
٤٣ Renewable Energy Instead of Fossil Fuels in Iran: An Optimal Control Approach. *The Journal of
٤٤ Economic Modeling Research*. Issue 11:123-140. (in Persian)
- ٤٥ 26. Sharifimoghadam A., Sadeghi h., Delavar M., and Zarghami M. 2014. Water-food-energy Nexs in
٤٦ agricultural water resources management in Shazand watershed. 14th National Conference on
٤٧ Watershed Management Science and Engineering of Iran. (in Persian)

- 1 27. Slami G., Darzi A., and Emadi A. 2018. Assessment of water resources and agricultural water
2 consumption in Babol plain. The Second National Conference on Science and Technology of
3 Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran.
- 4 28. Soltani A, Rajabi MH, Zeinali E and Soltani E. 2013, Energy inputs and greenhouse gases emissions
5 in wheat production in Gorgan. Issue 50: 54-61.
- 6 29. Taghinazhad J., Vahedi A., and Ranjbar F. 2019, E assessment of energy consumption and greenhouse
7 gas emissions from wheat ductionpro in Ardabil Proviencie. Journal of Environmental
8 Sciences.17(3):137-150. (in Persian with English abstract)
- 9 30. Yousefi Z., Vahedi A., and Askari-Bozayeh f. 2021, Energy Consumption Analysis and Environmental
10 Impact Evaluation of Rice Production by Life Cycle Assessment (LCA) in Guilan Province.
11 Agricultural Mechanization and Systems Research. 22(78): 55-72. (in Persian with English abstract)
- 12 31. Yue G., Zhang F., Wang Y., Zhang X. and Guo P. 2020. Fuzzy multi-objective modelling for managing
13 water-food-energy-climate change-land nexus towards sustainability. Journal of Hydrology. 1-47.
- 14
15
16
17

18 **Determining the optimal cultivation pattern and energy consumption portfolio required for** 19 **irrigation water pumping (Case study: arable lands in north iran)**

20 21 **Introduction**

22 The growing importance of energy resources in the formation and growth of economic processes, as well as the need
23 to exploit these resources based on environmental considerations and sustainable economic development, the issue of
24 energy saving as an important issue in all economic infrastructures, including industry. Global warming, declining
25 crop yields, climate change and acid rain are the result of fossil fuel consumption. For this reason, in recent years,
26 various countries, both developed and developing, have paid increasing attention to renewable energy in order to
27 reduce dependence on an energy carrier, reduce environmental pollution and achieve energy sustainability.

28 **materials and ways**

29 In the present study, a multi-objective mathematical planning model was designed, in which the optimal crop
30 cultivation model in the southern grove area of Babol city, taking into account the maximum profit from the sale of
31 crops, relying on expanding the use of renewable energy sources in the supply basket Irrigation water and reduction
32 of fossil energy consumption used in irrigation water supply were determined. The objective functions of the study
33 are in the form of two objectives: profit maximization and minimization of greenhouse gas emissions. The amount of
34 profit considered in the present study is equal to the difference between income from crop production and total costs,
35 including irrigation, planting and harvesting costs, seed costs, fertilizers and pesticides, and labor costs. The
36 greenhouse gases in this study include CO₂, N₂O and CH₄, which aim to minimize their emission in determining the
37 optimal crop pattern. In this study, we will try to solve the proposed nonlinear multi-objective pattern using the
38 constraint epsilon method. Then, based on the energy link indexes (E), the best solution was selected from the proposed
39 ways using the TOPSIS multi-criteria decision model. The statistical population in this study are farmers in the
40 southern forest area of Babol city. Matlab, Lingo and Excel software have also been used to estimate the results.

41 **Results and discussion:**

42 In this study, a multi-objective model with objective functions of profit maximization and minimization of greenhouse
43 gas emissions subject to energy, energy flow, water, fertilizer, capital and land constraints using the method The
44 constraint is resolved and eventually the study decision variables are obtained. In terms of recyclable energy, the
45 model suggests that four types of Tarom rice, Shiroodi rice, soybean, and corn be grown with 0.40, 0.34, 0.14 and
46 0.12 ha / ha, respectively. As can be seen, in accordance with the outputs of the optimal model in terms of renewable
47 energy, most of the cultivated land is allocated to Tarom and Shiroodi rice. The total amount of energy required in the
48 optimal model in terms of renewable energy was 2518 kWh, of which fossil energy is 79% and solar energy is 21%.
49 According to the calculations made in Equation 3, to provide 21% (518 kWh) of solar electricity required by the

1 irrigation system in order to irrigate one hectare of the proposed model of the optimal model in the study area, a solar
2 panel with a capacity of 0.22 kW will be required. The results of the model show that in terms of renewable energy,
3 with the implementation of the proposed model, the profit of farmers in the region per hectare increases from 14776.21
4 to 14778.18 million rials compared to the situation of non-renewable energy in the entire growing season. In other
5 words, in the current situation, people cultivate crops regardless of energy consumption and production costs
6 (traditional method of rice production by local farmers), while by choosing the right model, the farmer's economic
7 benefits can be increased by 0.013%. At the same time, it saved a significant amount of fossil energy consumption. The
8 minimum emission target of the model in terms of renewable energy states that for the cultivation of 0.40 hectares of
9 Tarom rice, 0.34 hectares of Shiroodi, 0.14 hectares of soybean and 0.12 hectares of corn, at the rate of 2836 kg
10 equivalent to CO2 pollution Fertilizers, pesticides and fossil fuel consumption will be released, which is 9% less than
11 the current situation where only fossil fuels are used to irrigate crops.

12 **Conclusions**

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

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

23