مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۸ / شماره ۱/ ۱۴۰۳. ص۱-۱۴
https://doi.org/10.22092/jwra.2024.363555.1010

بررسی شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی در دو دشت با اقلیم متفاوت

سعید حبیبی، مجتبی خوش‌روش* و رسول نوری خواجه‌بلاغ

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
saeidhabibi990@yahoo.com
*دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
khoshravesh_m24@yahoo.com; m.khoshravesh@sanru.ac.ir
دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
Rassolrahaii@yahoo.com

دریافت: مهر ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

آب، غذا و انرژی سه منبع اساسی برای حفظ زندگی و توسعه اقتصادی اجتماعی هستند و به‌طور جدایی‌ناپذیری به هم مرتبط اند. هدف پژوهش حاضر بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب، انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی محصولات عمده زراعی یعنی گندم و کلزا در دو اقلیم متفاوت در دشت ساری (معتدل و مرطوب) و دشت شریف‌آباد (گرم و نیمه خشک) بود. برای بررسی این شاخص‌ها در محصول گندم و کلزا از داده‌های مقطعی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ استفاده شد. ابتدا تعداد نمونه بر اساس رابطه کوکران مشخص شد. سپس نمونه‌گیری بر اساس پرسشنامه طرح‌شده توسط خود محققان انجام گردید. تعداد ۳۰۰ پرسشنامه تهیه شد و اطلاعات جمع‌آوری‌شده شامل مقدار مصرف نهاده‌ها و مقدار تولید بود. نتایج نشان داد که میانگین بهره‌وری فیزیکی آب در دشت ساری برای گندم و کلزا به ترتیب برابر با ۱/۱۳ و ۰/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب و در دشت شریف‌آباد به‌ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. نیز، نتایج به‌دست‌آمده برای شاخص‌های انرژی نشان داد که بالاترین میزان انرژی ورودی در دشت ساری و شریف‌آباد برای محصول گندم به‌ترتیب برابر با ۸۰۶۱۸ و ۷۱۰۷۲ مگاژول در هکتار بوده است. همچنین نتایج نشان داد که بالاترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دشت ساری برای محصول گندم برابر با ۲۴۹۵ و در دشت شریف‌آباد برابر با ۲۲۹۹ کیلوگرم CO_2 در هکتار به دست آمد که علت احتمالی این امر استفاده بیش‌ازحد کود و سموم در دشت ساری است. نتایج کلی نشان داد که عملکرد محصول در مناطق مرطوب بیشتر از مناطق خشک و نیمه‌خشک نبوده و این شاخص به پارامترهای مختلفی از جمله مصرف آب و مدیریت زراعی بستگی دارد.

واژه‌های کلیدی: انرژی خالص، بهره‌وری انرژی، کلزا، گندم

* – آدرس ایمیل نویسنده مسئول: **khoshravesh_m24@yahoo.com; m.khoshravesh@sanru.ac.ir**

مقدمه

آب، غذا و انرژی سه منبع اساسی برای حفظ زندگی و توسعه اقتصاد اجتماعی هستند و به‌طور جدایی ناپذیری به هم مرتبط هستند. کشاورزی ستون فقرات امنیت غذایی یک جامعه است، اما از طرفی دیگر چون بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب شیرین در جهان است بنابراین بر امنیت انرژی نیز تأثیر می‌گذارد. در سطح جهانی، حدود ۹۰ درصد از منابع آب شیرین جهت تولید غذا مصرف‌شده و در سطح انرژی حدود ۳۰ درصد از انرژی مصرفی برای تولید مواد غذایی و زنجیره تأمین آن مصرف می‌شود. بااین‌حال، افزایش جمعیت جهان و توسعه اقتصاد به دلیل تقاضای مورد انتظار برای ۵۰٪ غذای بیشتر، ۴۰٪ انرژی بیشتر و ۳۰٪ آب بیشتر تا سال ۲۰۳۰ چالش‌هایی را ایجاد کرده است که کمبود آب و انرژی را تشدید می‌کند؛ بنابراین، مدیریت یکپارچه منابع محدود آب، انرژی و پاسخگویی به تقاضای فزاینده غذا از بخش کشاورزی یک انتظار چالش‌برانگیز است (سلامتی و همکاران، ۱۳۹۷).

برای رسیدن به تولید پایدار در کشاورزی، کاهش هزینه تولید و افزایش بهره‌وری در استفاده از منابع تولید و همچنین افزایش عملکرد محصول در واحد سطح امری ضروری است (پازکی طرودی و همکاران، ۱۳۹۶). از مهم‌ترین موضوعاتی که در این بخش بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته‌است موضوع مدیریت مصرف انرژی در کشاورزی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در نتیجه فعالیت‌های کشاورزی است. موازنه انرژی زمانی اهمیت پیدا کرد که مردم از بحران جهانی مربوط به پایان سوخت‌های فسیلی آگاهی یافتند، بنابراین درصدد آن برآمدند که با برنامه‌ریزی دقیق مقدار انرژی مصرف‌شده و برآورد آن در بخش‌های مختلف را به‌دست آورند (پلاتیس و همکاران، ۲۰۱۹). طبق مقیاس جهانی، نزدیک به پنج درصد از کل انرژی در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و حدود ۱۱ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز مربوط به کشاورزی است (اسمیت و همکاران، ۲۰۱۴) که این آلودگی‌ها ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته، کودها، سموم کشاورزی، عملیات زراعی و خاکورزی است (کامارگو و همکاران، ۲۰۱۳).

نخجوانی مقدم و همکاران (۱۳۹۶)، طی مطالعه‌ای که در برخی از استان‌های کشور انجام دادند تا بهره‌وری فیزیکی آب در تولید محصول گندم را مورد بررسی قرار دهند، دریافتند که میزان بهره‌وری آب در کشت گندم برای سه شهرستان کرج ۲/۱، شهرستان کرمان ۰/۴ و شهرستان مشهد ۱/۹ به دست آمد. در مطالعه‌ای که با هدف بررسی عملکرد و بهره‌وری محصول جو آبی در کشور اتیوپی انجام شد دریافتند که بهره‌وری آب در این محصول بین ۲/۰۱ تا ۲/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب است (آرارسا و همکاران، ۲۰۱۹).

در مطالعه‌ای که نوری خواجه‌بلاغ و همکاران (۱۳۹۹)، برای ارزیابی بهره‌وری فیزیکی آب در دشت اردبیل روی محصولات زراعی انجام دادند دریافتند که محصول گندم و جو با ۱/۱۹ و ۱/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب بالاترین میزان بهره‌وری و محصول یونجه و کلزا با میزان ۰/۷۵ و ۰/۶۷ رتبه‌های بعد را به خود اختصاص داده بودند.

سلطانی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای که بر روی گندم در گرگان برای به‌دست آوردن انرژی ورودی انجام دادند دریافتند که انرژی مربوط به سوخت عملیات زراعی با میانگین ۳۳۹۰ مگاژول بر هکتار در بین کل انرژی‌های ورودی مستقیم دارای بیشترین میزان است. آن‌ها در ادامه با ارزیابی انرژی‌های ورودی غیرمستقیم کود نیتروژن (۹۵ کیلوگرم) با استفاده از ضرایب تبدیل میزان انرژی ورودی را ۵۹۶۴ مگاژول بر هکتار به دست آوردند که در بین کودها بیشترین میزان به خود اختصاص داده بود. واحدی و ظریف‌نشاط (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای که در استان‌های البرز، اصفهان، اردبیل، خراسان رضوی، خوزستان، گلستان و همدان بر روی گندم آبی انجام دادند میزان میانگین انرژی ورودی، انرژی خروجی، کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و خالص انرژی را در استان‌های مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۵۸۳۰/۸۳ مگاژول بر هکتار،

۱۳۶۰۹۲/۱۵ مگاژول بر هکتار، ۲/۸۷، ۰/۲۱۲ کیلوگرم بر مگاژول و ۷۷۷۸۳/۳۱ مگاژول بر هکتار به‌دست آوردند.

در مطالعه‌ای که برای بررسی کارایی مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارزیابی پایداری در مزارع گندم و کلزا شهرستان خرمشهر انجام شد، دریافتند که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک هکتار مزارع گندم و کلزا شهرستان به‌ترتیب ۱۴۳۸/۵ و ۱۴۶۶ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار و پتانسیل گرمایش جهانی به‌ترتیب ۱۸۲۲۳ و ۲۲۳۸ تن دی‌اکسیدکربن بوده است (خدائی جوقان و همکاران، ۱۴۰۱).

فان و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای که با هدف بررسی تأثیر زمین-آب-انرژی در مدیریت کشاورزی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای روی چهار محصول برنج، گندم، ذرت و سویا انجام دادند دریافتند که مزارع برنج به دلیل ورودی بالای منابع و کشت غرقابی، ۲۹ درصد از کل پروتئین محصول را تولید کرده، اما ۵۱ درصد از کل مصرف آب، ۴۳ درصد از کل مصرف انرژی و ۵۴ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده است.

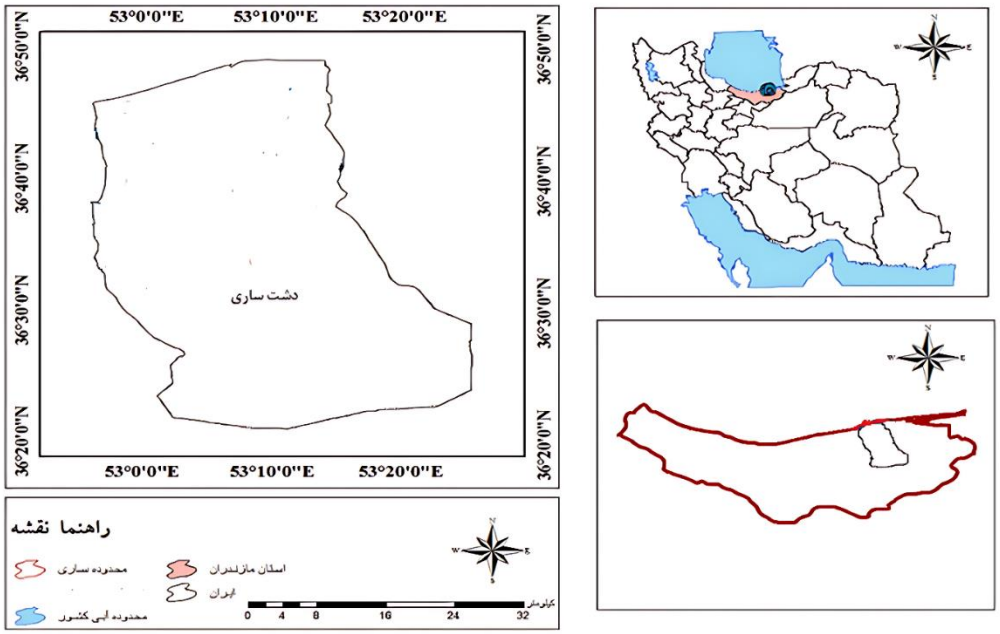
بنابراین به‌منظور دستیابی به کشاورزی پایدار توجه به شاخص‌های انرژی، بهره‌وری مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ضروری است. مصرف انرژی در کشاورزی باید به نحوی باشد که بهره‌وری بالا و همچنین کاهش هدررفت انرژی را تضمین کند. شاخص‌های انرژی می‌توانند در ارزیابی و بهبود کارآیی انرژی در تولید محصولات کمک کنند. با کاهش مصرف انرژی غیرضروری، انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش بهره‌وری، می‌توان هزینه‌ها را کاهش داد و به تولید پایدارتر و اقتصادی‌تر دست یافت. به‌طورکلی، ترکیبی از شاخص‌های انرژی، بهره‌وری آب و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی می‌تواند به توسعه کشاورزی پایدار و حفظ محیط‌زیست کمک کند و به تأمین غذایی مطمئن و در دسترس برای جامعه کمک کند. هدف مطالعه مورد نظر بررسی شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در دو اقلیم گرم و خشک (دشت شریف‌آباد قم) و معتدل و مرطوب (دشت ساری مازندران) بود تا بتوان تأثیر اقلیم را در خروجی این شاخص‌ها ارزیابی کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت ساری

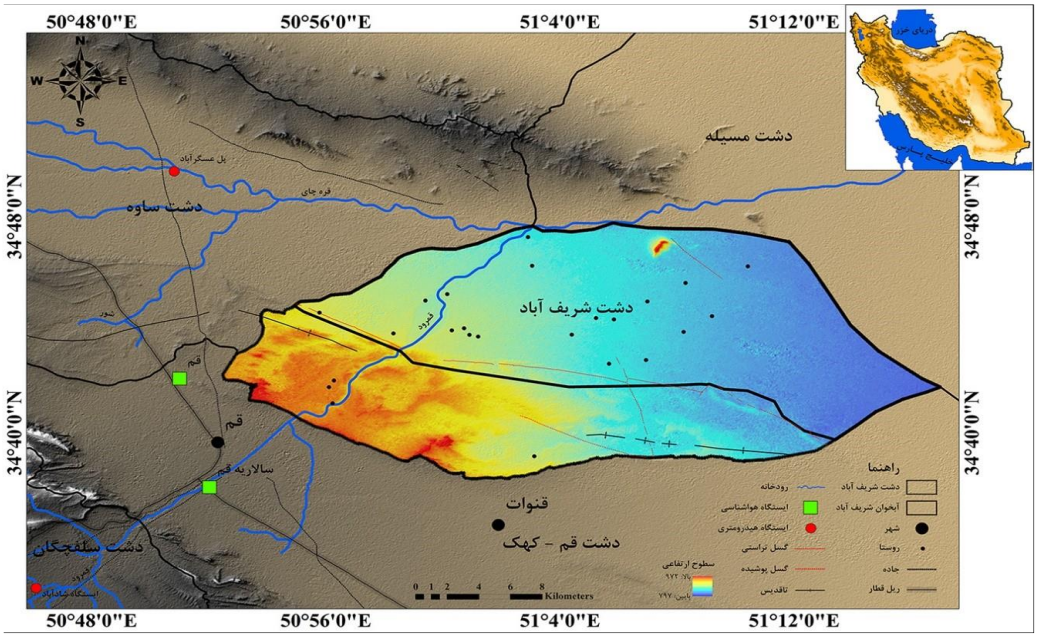
با توجه به هدف مطالعه در راستای بررسی تأثیر اقلیم بر روی شاخص‌های ذکرشده دشت سای به‌عنوان دشت مرطوب و معتدل انتخاب گردید. این دشت در شهرستان ساری مرکز استان مازندران است که دارای اقلیم معتدل و مرطوب بوده و از لحاظ پوشش گیاهی در رده متراکم قرار دارد (شکل ۱). کاربری اراضی غالب منطقه، کشاورزی آبی و دیم است. دشت ساری بین دو رودخانه مهم تجن و نکارود در شرق استان مازندران واقع شده و مساحت آن ۱۵۳۲۷۷/۷۳ هکتار است. دشت ساری یکی از دشت‌های مهم و حیاتی در شمال ایران است که به دلیل شرایط آب و هوایی مناسب و خاک حاصلخیز، یکی از مناطق حیاتی کشاورزی به شمار می‌آید. دشت ساری از سمت شمال به دریای خزر می‌رسد. این موقعیت جغرافیایی باعث می‌شود که دارای تأثیرات آب و هوایی مرطوب باشد و بهره‌برداری از آب و نیز تنوع در تولید محصولات کشاورزی را تسهیل کند. خاک دشت ساری از نوع لومی است که از نظر مواد آلی و عناصر معدنی غنی هستند و به جهت تغذیه مناسب گیاهان برای کاشت انواع محصولات زراعی و باغی مختلف مناسب می‌باشند (نوری و همکاران، ۲۰۲۳).



شکل ۱- موقعیت دشت ساری در استان مازندران

دشت شریف‌آباد

با توجه به اینکه هدف مطالعه بررسی اثر شرایط اقلیمی بر روی شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بود، بعد از انتخاب دشت ساری به‌عنوان اقلیم معتدل و مرطوب، دشت شریف‌آباد به‌عنوان دشتی گرم و خشک انتخاب گردید (شکل ۲). این دشت از شمال و شرق به دشت مسیله، از جنوب به دشت قم و از غرب به دشت ساوه محدود می‌گردد. به‌طور میانگین، میزان بارش در کوه‌های محدوده مطالعاتی به حدود ۱۳۳میلی‌متر و در دشت به حدود ۱۲۵ میلی‌متر می‌رسد. همچنین، میانگین دما در دشت شریف‌آباد حدود ۱۸/۵ درجه سانتی-گراد است. سطح محصولات زراعی و باغی آبی در دشت شریف‌آباد حدود ۹۸۰۰ هکتار است که محصولات جو، یونجه و پسته بیشترین سطح را به خود اختصاص می‌دهند. دشت شریف‌آباد تحت تأثیر اقلیم نیمه‌خشک قرار دارد. این نوع اقلیم به معنای کمبود بارش‌ها و میزان رطوبت هوا در مناطق خاص است. دشت شریف‌آباد تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های معتدل دارد. معمولاً تابستان‌ها دما به میزان زیادی افزایش می‌یابد و میزان بارش در این دوره کم است. با توجه به اقلیم خشک، کشاورزی در دشت شریف‌آباد با چالش‌هایی مواجه است. این چالش‌ها شامل کمبود آب، خشکسالی‌های متناوب، کنترل آب و زراعت است. با این وجود، تلاش‌ها و تکنیک‌های کشاورزی پایدار می‌توانند به تولید محصولات موفقیت‌آمیز در این منطقه کمک کنند.



شکل ۲- موقعیت دشت شریف‌آباد در استان قم

جمع‌آوری اطلاعات

برای بررسی بهره‌وری فیزیکی آب و شاخص‌های انرژی به‌عنوان هدف اول از انجام این پژوهش از پرسشنامه استفاده گردید. می‌توان گفت پرسشنامه از ابزارهای رایج تحقیق و مسیری مستقیم برای به دست آوردن داده‌های تحقیق با مجموعه‌ای از اطلاعات است که پاسخ‌دهنده با ملاحظه‌ی آن‌ها پاسخ لازم را ارائه می‌دهد و این پاسخ، داده‌های مورد نیاز پژوهش‌گر را فراهم می‌آورد (ازکیا و دربان آستانه، ۱۳۹۳).

برای بررسی بهره‌وری فیزیکی آب و ارزیابی شاخص‌های انرژی در این مطالعه محصولات عمده زراعی در دشت ساری و شریف‌آباد شامل گندم و کلزا از داده‌های مقطعی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ استفاده شد. ابتدا حجم نمونه بر اساس رابطه کوکران و روش تعیین حجم بارتلت و همکاران (۲۰۰۱) مشخص شد. سپس نمونه‌گیری بر اساس پرسشنامه طرح‌شده توسط خود محققان انجام گردید که توسط کارشناسان جهاد کشاورزی و دانشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. پرسشنامه‌ها به تعداد ۳۰۰ پرسشنامه (دشت ساری:۱۸۰، دشت شریف‌آباد:۱۲۰) بود که اطلاعات جمع‌آوری‌شده شامل مقدار مصرف نهاده‌ها و مقدار تولید بود. پرسشنامه حاضر که توسط محقق طراحی‌شده بود، از لحاظ روایی با روش روایی محتوی، توسط خبرگان (۵ نفر) مورد بررسی قرار گرفت (روایی ۰/۹۹ درصد) که مورد تائید خبرگان قرار گرفت. همچنین پایایی مطالعه با آلفای کرونباخ (۰/۹۵) ارزیابی شد. نهاده‌های مورد استفاده در بررسی بهره‌وری آب و شاخص‌های انرژی محصولات یاد شده در دشت ساری و شریف‌آباد، شامل نفر-روز نیروی انسانی، ساعات کاری استفاده از ماشین‌آلات، مصرف سوخت ماشین‌آلات، مقدار مصرف کودهای نیتروژن، فسفات، پتاسیم بر حسب کیلوگرم در هکتار، مقدار مصرف انواع سموم شیمیایی شامل علف‌کش، قارچ‌کش و حشره‌کش بر حسب لیتر در هکتار و مقدار آب مصرفی برحسب مترمکعب در هکتار است. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای EXCEL و SPSS استفاده شد. میزان آب مصرفی در هر دو دشت در جدول ۳ آورده شده است. لازم به ذکر است داده‌ها به‌صورت پرسشنامه‌ای بوده و توسط کشاورزان بر اساس میزان حقابه و تعداد نوبت آبیاری جمع‌آوری‌شده، همچنین جهت اطمینان از صحت داده‌ها، از نظرات کارشناسان آب‌وخاک جهاد کشاورزی و مقایسه با منابع معتبر صورت گرفته‌شده است.

بهره‌وری فیزیکی آب

عملکرد به‌ازای واحد حجم آب: (CPD[1])

CPD یا محصول در قطره یکی از شاخص‌های مطرح در خصوص سنجش میزان بهره‌وری آب کشاورزی است (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲).

$$CPD=\frac{\text{مقدار محصول تولید شده}}{\text{مقدار آب مصرف شده}}$$

محاسبه شاخص‌های مربوط به انرژی

برای محاسبه و به‌دست آوردن شاخص‌های انرژی در محصولات گندم و کلزا دشت ساری و شریف‌آباد، انرژی نهاده‌های مصرفی شامل نفر روز نیروی انسانی، انواع کود، انواع سموم، ماشین‌آلات، آب و سوخت قرار گرفتند را به همراه عملکرد محصول مطابق معادل انرژی آن‌ها که در جدول ۱ به آن‌ها اشاره شده است، محاسبه شدند. به‌منظور قابل مقایسه شدن شاخص‌های انرژی، تمامی داده‌های ورودی و خروجی در تولید محصولات عمده زراعی به‌صورت میانگین بیان شده‌است.

جدول ۱- معادل انرژی ورودی و خروجی در تولید محصولات زراعی

الف) ورودی	واحد	انرژی معادل (مگاژول بر هکتار)	منبع
نیروی انسانی	hr(ساعت)	۱/۹۶	دی و همکاران (۲۰۰۱)
ماشین‌آلات	hr	۶۲/۷	مندال و همکاران (۲۰۰۲)
گازوئیل	L	۴۷/۸	کیتانی (۱۹۹۹)
نیتروژن	kg	۶۶/۱۴	هاتیرلی و همکاران (۲۰۰۶)
فسفر (P_2O_5)	kg	۱۲/۴۴	هاتیرلی و همکاران (۲۰۰۶)
پتاسیم (K_2O)	kg	۱۱/۱۵	هاتیرلی و همکاران (۲۰۰۶)
علفکش‌ها	L(لیتر)	۸۵	کیتانی (۱۹۹۹)
حشره‌کش‌ها	L	۲۲۹	کیتانی (۱۹۹۹)
قارچ‌کش‌ها	L	۲۱۶	محمدی و همکاران (۲۰۱۴)
روغن ولک	L	۴۳/۲	محمدی و همکاران (۲۰۱۴)
آب آبیاری	m^3 (مترمکعب)	۱/۰۲	آکاراوغلو (۱۹۹۸)
ب) خروجی	-	-	-
گندم	kg	۱۴/۷	سینگ و همکاران (۱۹۹۲)
کلزا	kg	۲۷/۶	سینگ و همکاران (۱۹۹۲)
کاه	kg	۱۲/۵	منصوری و همکاران (۲۰۱۲)

شاخص‌های انرژی طبق معادله‌های ۱ تا ۴ محاسبه خواهد شد (پیمنتال، ۱۹۸۰: هرز و همکاران، ۱۹۹۵: هاتیرلی و همکاران، ۲۰۰۶)

$$\text{کارایی مصرف انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}} \quad (۱)$$

$$\text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}} \quad (۲)$$

انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار) = انرژی خالص

انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار) − (۳)

[1]- Crop Per Drop

$$\text{انرژی مخصوص} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}} \quad (۴$$

محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای هر کدام از نهاده-های شیمیایی با توجه به ضرایب انتشار CO_2، N_2O و CH_4 در جدول ۲ محاسبه خواهد شد. همچنین، پتانسیل گرمایش جهانی در یک هکتار بر اساس میزان انتشار هر یک از گازهای گلخانه‌ای و ضریب اثر آن‌ها برای یک دوره ۱۰۰ ساله با فرض اینکه مقادیر آن برای CO_2 برابر با ۱، برای N_2O برابر با ۳۰ و برای CH_4 برابر با ۲۱ است، محاسبه شد (آی پی سی سی، ۱۹۹۵). در نهایت، پتانسیل گرمایش جهانی گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته در محصولات گندم و کلزا دشت ساری (مازندران) و شریف‌آباد (قم) برای یک هکتار بر اساس معادل CO_2 محاسبه شد.

جدول ۲- انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای مصرف هر واحد نهاده ورودی

منبع	CO_2	N_2O	CH_4	ورودی
کرامر و همکاران (۱۹۹۹)	۳۵۶۰	۰/۷	۵/۲	گازوئیل
اسنایدار و همکاران (۲۰۰۹)	۳۱۰۰	۰/۰۳	۳/۷	نیتروژن
اسنایدار و همکاران (۲۰۰۹)	۱۰۰۰	۰/۰۲	۱/۸	فسفر (P_2O_5)
اسنایدار و همکاران (۲۰۰۹)	۷۰۰	۰/۰۱	۱	پتاسیم (K_2O)
لال (۲۰۰۴)	۶۳۰۰	_	_	علف‌کش
لال (۲۰۰۴)	۵۱۰۰	_	_	حشره‌کش

نتایج و بحث

بهره‌وری فیزیکی آب

با توجه به اینکه هدف مطالعه حاضر در ابتدا بررسی بهره‌وری فیزیکی آب و در مراحل بعد بررسی شاخص‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بود لذا ابتدا نیاز به داده‌های مصرف آب و عملکرد محصولات کلزا و گندم در هر دشت بود که نتایج حاضر در جدول ۳ آورده شده است. نتایج بهره‌وری فیزیکی آب در جدول ۳ نشان داد که بیشترین میزان بهره‌وری در دشت ساری مربوط به محصول گندم (۱/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب) با مصرف آب به میزان ۶۰۴۰ مترمکعب در هکتار بوده و میانگین به دست آمده برای این دشت برابر با ۱/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب با مصرف آب ۳۸۰۰ مترمکعب در هکتار به دست آمد که این نتایج نشان داد با افزایش حجم آبیاری بهره‌وری افزایش‌یافته ولی افزایش آن زیاد نبوده است. همچنین کمترین میزان بهره‌وری در دشت شریف‌آباد مربوط به محصول کلزا با میانگین ۰/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده دشت ساری در شاخص بهره‌وری فیزیکی آب به‌مراتب وضعیت بهتری نسبت به دشت شریف‌آباد دارد. به دلیل سابقه بالای کشت گندم در کشور، کشاورزان شناخت بیشتری در خصوص مدیریت مزارع گندم به نسبت کلزا دارند که این امر سبب شده است تا عملکرد گندم به نسبت نهاده‌های مصرفی به‌مراتب بیشتر از کلزا باشد که باعث وضعیت بهتر بهره‌وری فیزیکی آب گندم نسبت به کلزا شده است. همچنین شرایط ایده‌آل برای رشد گندم، آب‌وهوای خنک در دوره رشد رویشی، آب‌وهوای معتدل در دوران تشکیل دانه و آب‌وهوای گرم‌وخشک در زمان برداشت محصول است که دشت ساری در دوران تشکیل دانه و برداشت به‌شدت گرم و شرجی بوده و این امر روی عملکرد محصول تأثیرگذار بوده و باعث شده بهره‌وری این محصول در دشت ساری کمتر از دشت شریف‌آباد باشد.

نخجوانی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۶) در شهرهای کرج، کرمان و مشهد بهره‌وری برای محصول گندم را بین ۰/۴ تا ۲/۱ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آوردند. همچنین سپه‌وند (۱۳۸۸) در مناطق غرب کشور این عدد را برای

گندم ۱/۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب و فان و همکاران (۲۰۱۴) در شمال‌غرب چین این عدد را بین ۰/۵۷ و ۱/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آوردند. حیدری (۲۰۱۴) بهره‌وری گندم برای ایران را به‌طور میانگین ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب اعلام کرد که با نتایج این مطالعه برای بهره‌وری گندم که ۱/۱۳ کیلوگرم برای دشت ساری و ۰/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب برای دشت شریف‌آباد به‌دست آمده بود هم‌خوانی دارند. همچنین در مطالعه‌ای که نوری خواجه‌بلاغ و همکاران (۱۳۹۹)، برای ارزیابی بهره‌وری فیزیکی در دشت اردبیل روی محصولات زراعی انجام دادند دریافتند که محصول گندم و جو با ۱/۱۹ و ۱/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب بالاترین میزان بهره‌وری و محصول یونجه و کلزا با میزان ۰/۷۵ و ۰/۶۷ رتبه‌های بعد را به خود اختصاص داده بودند که نتایج آن‌ها با مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد.

جدول ۳- پارامترهای آبیاری در محصولات گندم و کلزا در دو دشت ساری و شریف‌آباد

دشت	محصول	پارامتر	عمق آبیاری هر نوبت (میلی‌متر)	تعداد آبیاری	حجم آبیاری (مترمکعب)	عملکرد (کیلوگرم)	بهره‌وری (کیلوگرم بر مترمکعب)
ساری	گندم	حداقل	۸	۱۰	۱۵۶۰	۱۶۵۰	۱/۰۵
		حداکثر	۵۴	۲۵	۶۰۴۰	۶۹۵۰	۱/۱۵
		میانگین	۲۹	۱۹	۳۸۰۰	۴۳۰۰	۱/۱۳
	کلزا	حداقل	۱۰	۸	۱۷۵۰	۱۳۳۰	۰/۷۶
		حداکثر	۶۵	۲۰	۶۲۸۵	۴۰۲۷	۰/۶۴
		میانگین	۲۹	۱۵	۴۰۱۷	۲۶۷۸/۵	۰/۶۷
شریف‌آباد	گندم	حداقل	۱۰	۱۵	۳۵۵۰	۲۷۵۰	۰/۷۷
		حداکثر	۶۵	۳۵	۷۳۵۰	۶۲۵۰	۰/۸۵
		میانگین	۳۵	۲۴	۵۴۵۰	۴۵۰۰	۰/۸۳
	کلزا	حداقل	۱۲	۱۲	۳۳۰۰	۱۱۰۰	۰/۳۳
		حداکثر	۷۵	۳۰	۷۶۰۰	۲۷۰۰	۰/۳۶
		میانگین	۴۱	۲۰	۵۴۵۰	۱۹۰۰	۰/۳۵

در ادامه برای ارزیابی شاخص‌های انرژی نیاز به آمار توصیفی تمام نهاده‌های مصرفی بود که در جدول ۴ آورده شده است. نتایج آمار توصیفی مقدار مصرف نهاده‌ها در دشت ساری و شریف‌آباد در محصول کلزا و گندم نشان داد که بیشترین نهاده مصرفی نیروی انسانی در کشت محصول گندم در دشت شریف‌آباد با میانگین ۱۲۲/۵ ساعت در هکتار، بیشترین میزان مصرف کود مربوط به محصول کلزا در دشت ساری مربوط به کود نیتروژن با میانگین ۲۳۲/۸۵ کیلوگرم در هکتار، بیشترین میزان مصرف سوخت ماشین‌آلات مربوط به محصول گندم در دشت ساری با میانگین ۲۶۵ لیتر در هکتار، بیشترین میزان مصرف آب مربوط به محصول کلزا و گندم در دشت شریف‌آباد با میانگین ۵۴۵۰ مترمکعب در هکتار و بیشترین میزان عملکرد مربوط به محصول گندم در دشت شریف‌آباد با میانگین ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

جدول ۴- میانگین مصرف نهاده‌ها در هر هکتار زراعت کلزا و گندم دشت ساری و شریف‌آباد

دشت	دشت ساری		دشت شریف‌آباد	
نهاده	کلزا	گندم	کلزا	گندم
نیروی انسانی (ساعت)	۴۶	۸۵	۱۰۰	۱۲۲/۵
نیتروژن (کیلوگرم)	۲۳۳	۱۴۵	۱۴۷	۱۴۷/۵
فسفات (کیلوگرم)	۸۷	۱۱۰	۶۷	۷۷/۵
پتاسیم (کیلوگرم)	۵۰	۶۵	۷۷	۲۲/۵
ماشین‌آلات (ساعت)	۱۲	۷	۱۲	۷
سوخت ماشین‌آلات (لیتر)	۱۶۷/۵	۲۶۵	۱۵۰	۲۴۷/۵
علف‌کش (لیتر)	۱/۲۱	۲	۱/۱۳	۰/۷۵
حشره‌کش (لیتر)	۰/۶	۱	۱/۷۵	۱/۳۵
قارچ‌کش (لیتر)	۰/۹۶	۰/۹۵	۰	۰
آب مصرفی (مترمکعب)	۴۰۱۷	۳۸۰۰	۵۴۵۰	۵۴۵۰
عملکرد دانه (کیلوگرم)	۲۶۷۸	۴۳۰۰	۱۹۰۰	۴۵۰۰
عملکرد کاه (کیلوگرم)	-	۴۴۲۵	-	۴۶۷۵

شاخص‌های انرژی

طبق نتایج به‌دست‌آمده از جدول (۵)، برای مجموع شاخص‌های انرژی ورودی، نهاده‌های کود نیتروژن و فسفات، سوخت ماشین‌آلات و آب مصرفی دارای بیشترین میزان انرژی ورودی بودند. بیشترین انرژی ورودی مربوط به نیتروژن در محصول کلزا در دشت ساری برابر با ۱۵۴۰۱ مگاژول در هکتار به دست آمد. همچنین طبق نتایج به دست آمده، سوخت مصرفی در محصول گندم مربوط به دشت ساری برابر با ۱۲۶۶۷ مگاژول در هکتار به دست آمد. سلطانی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای که بر روی گندم در گرگان برای به‌دست آوردن انرژی ورودی انجام دادند دریافتند که انرژی مربوط به سوخت عملیات زراعی با میانگین ۳۳۹۰ مگاژول بر هکتار در بین کل انرژی‌های ورودی مستقیم دارای بیشترین میزان است که نتایج آن‌ها با نتایج حاضر در خصوص بالا بودن انرژی ورودی در بخش سوخت مصرفی هم‌خوانی دارند. آن‌ها در ادامه با ارزیابی انرژی‌های ورودی غیرمستقیم کود نیتروژن را با میزان ۵۹۶۴ مگاژول بر هکتار دارای بیشترین میزان در بین سایر کودها معرفی کردند که با مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. در ادامه نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین انرژی در نهاده آب مصرفی مربوط به دشت شریف‌آباد و دو محصول گندم و کلزا با میزان ۵۵۵۹ مگاژول در هکتار بوده است. در نهایت نتایج به‌دست‌آمده برای بیشترین میزان انرژی در خصوص عملکرد نشان داد که محصول کلزا در دشت ساری دارای بیشترین میزان انرژی برابر با ۷۳۹۲۸ مگاژول در هکتار است. در مطالعه‌ای که خدائی جوقان و همکاران (۱۴۰۱) برای بررسی کارایی مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارزیابی پایداری در مزارع گندم و کلزا در شهرستان خرمشهر انجام شد، دریافتند که میزان انرژی ورودی در یک هکتار مزارع گندم و کلزا مورد مطالعه ۴۱۸۱۰ و ۳۳۵۱۷ مگاژول بود که بیشترین تأثیر را نهاده‌های الکتریسیته، کود نیتروژن و سوخت به خود اختصاص دادند که با مطالعه حاضر تفاوت دارند که این می‌تواند متأثر از دو اقلیم متفاوت باشد. در بین ورودی‌های انرژی موردمطالعه، سموم شیمیایی کمترین سهم از کل انرژی ورودی را دارا بودند. بهشتی تبار و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای که انجام دادند، سهم آفت‌کش‌ها از کل انرژی‌های ورودی در تولید محصولات زراعی کمتر از سایر ورودی‌ها است.

جدول ۵- انرژی ورودی و خروجی در تولید محصولات مورد مطالعه در دشت ساری

دشت		ساری		شریف‌آباد	
	واحد	کلزا (مگاژول در هر هکتار)	گندم (مگاژول در هر هکتار)	کلزا (مگاژول در هر هکتار)	گندم (مگاژول در هر هکتار)
ورودی					
نیروی انسانی (ساعت)	hr	۹۰	۱۶۷	۱۹۶	۲۴۰
نیتروژن (کیلوگرم)	kg	۱۵۴۰۱	۹۵۹۰	۹۷۵۵	۹۷۵۵
فسفات (کیلوگرم)	kg	۱۰۸۸	۱۳۶۸	۸۳۹	۹۶۴
پتاسیم (کیلوگرم)	kg	۵۵۷	۷۲۵	۸۶۴	۳۰۶
ماشین‌آلات (ساعت)	hr	۷۵۲/۴	۴۳۹	۷۵۲	۴۳۹
سوخت ماشین‌آلات (لیتر)	L	۸۰۰۶	۱۲۶۶۷	۷۱۷۰	۱۱۸۳۰
علف‌کش (لیتر)	L	۱۰۳	۱۷۰	۹۵	۶۴
حشره‌کش (لیتر)	L	۱۳۹	۲۲۹	۴۰۰	۳۰۹
قارچ‌کش (لیتر)	L	۲۰۶	۲۰۵	۰	۰
آب مصرفی (مترمکعب)	m^3	۴۰۹۸	۳۸۷۶	۵۵۵۹	۵۵۵۹
خروجی					
کلزا	kg	۷۳۹۲۸	–	۵۲۴۴۰	–
دانه گندم	kg	–	۶۳۲۱۰	–	۶۶۱۵۰
کاه گندم	kg	–	۵۵۳۱۲	–	۵۸۴۳۷

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که در دو دشت ساری و شریف‌آباد، محصول گندم دارای بیشترین انرژی ورودی (۸۰۶۱۸ مگاژول در هکتار)، در خصوص انرژی خروجی محصول گندم در دشت شریف‌آباد برابر با ۱۲۴۵۸۷ مگاژول در هکتار، بیشترین انرژی خالص مربوط به محصول گندم در دشت شریف‌آباد برابر با ۵۳۵۱۴ مگاژول در هکتار، بیشترین کارایی مصرف انرژی مربوط به محصول کلزا برابر با ۲/۴ در دشت ساری و از لحاظ بهره‌وری انرژی محصول گندم در دشت شریف‌آباد بیشترین میزان را با ۰/۱۳ کیلوگرم بر مگاژول به خود اختصاص داد (جدول ۶).

در مطالعه‌ای که خدائی جوگان و همکاران (۱۴۰۱)، در خصوص شاخص‌های انرژی روی محصول گندم در خرم‌شهر انجام دادند دریافتند که میزان کارایی مصرف انرژی برای گندم ۱/۳۲ و کلزا ۲/۱۵ است که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. در مطالعه‌ای دیگر که واحدی و ظریف نشاط (۱۴۰۰) در استان‌های البرز، اصفهان، اردبیل، خراسان رضوی، خوزستان، گلستان و همدان بر روی گندم آبی انجام دادند میزان میانگین انرژی ورودی، انرژی خروجی، کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و خالص انرژی را در استان‌های موردمطالعه به ترتیب برابر با ۵۸۳۰ مگاژول بر هکتار، ۱۳۶۰۹۲ مگاژول بر هکتار، ۲/۸۷، ۰/۲۱۲ کیلوگرم بر مگاژول و ۷۷۷۸۳ مگاژول بر هکتار به‌دست آوردند که با نتایج مطالعه حاضر در برخی پارامترها مثل بهره‌وری انرژی و کارایی مصرف انرژی اختلاف جزئی دارند که این امر می‌تواند متأثر از شرایط اقلیمی متفاوت، خاک متفاوت، نحوه آبیاری و سایر متغیرها باشد. درگاهی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای که در استان گلستان بر روی محصول کلزا برای به‌دست آوردن انرژی‌های تولید انجام دادند، میزان کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی مخصوص و انرژی خالص را در مزارع آبی به ترتیب ۲/۸، ۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول، ۸/۸ مگاژول بر کیلوگرم و ۳۷۴۳۶ مگاژول بر هکتار به‌دست آوردند که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد.

جدول ۶- شاخص‌های انرژی در تولید محصولات موردمطالعه در دشت ساری و شریف‌آباد

دشت		ساری		شریف‌آباد	
انرژی	واحد	کلزا	گندم	کلزا	گندم
انرژی ورودی	$MJ.ha^{-1}$	۳۰۷۴۴	۸۰۶۱۸	۲۶۰۵۶	۷۱۰۷۲
انرژی خروجی	$MJ.ha^{-1}$	۷۳۹۲۸	۱۱۸۵۲۲	۵۲۴۴۰	۱۲۴۵۸۷
انرژی خالص	$MJ.ha^{-1}$	۴۳۱۸۴	۳۷۹۰۴	۲۶۳۸۳	۵۳۵۱۴
کارایی مصرف انرژی	_	۲/۴	۱/۴۷	۲/۰۱	۱/۷۵
بهره‌وری انرژی	$Kg.MJ^{-1}$	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۳
انرژی مخصوص	$MJ.kg^{-1}$	۱۱/۴۸	۹/۲۴	۱۳/۷۱	۷/۷۵

انتشار گازهای گلخانه‌ای

بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن در دشت ساری در محصول گندم (معادل ۲۴۹۵/۵۲ کیلوگرم CO_2 در هکتار) و کمترین میزان این شاخص در دشت شریف‌آباد در محصول کلزا (معادل ۱۷۹۲ کیلوگرم CO_2 در هکتار) به دست آمد (جدول ۷). دستان و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای که انجام دادند میزان پتانسیل گرمایش جهانی در تولید برنج را ۲۳۰۷ کیلوگرم CO_2 در هکتار به‌دست آوردند. نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه محمدی و همکاران (۲۰۱۴) که در شمال ایران بر روی محصولات زراعی انجام داده بودند تا حدودی مطابقت داشت، آن‌ها میزان پتانسیل گرمایش جهانی را برای گندم ۱۱۷۱ کیلوگرم CO_2 در هکتار، برای جو ۱۱۰۵ کیلوگرم CO_2 در هکتار، برای کلزا ۱۰۶۳/۵ کیلوگرم CO_2 در هکتار اعلام کرده بودند. مقایسه نتایج دو دشت نشان می‌دهد که میزان پتانسیل گرمایش جهانی در دشت ساری بیشتر از دشت شریف‌آباد است که علت این امر می‌تواند دلایل مختلفی باشد، از جمله اینکه خاک‌هایی که در مناطق معتدل و مرطوب قرار دارند معمولاً برای کشت برخی از محصولات مناسب‌تر هستند و به تناوب بیشتری نیاز دارند. این تجزیه‌وتحلیل خاک نسبت به شرایط اقلیمی ممکن است به مدیریت بیشتری از نیتروژن و کودها منجر شود که می‌تواند منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای مثل اکسید نیتروژن شود یا در مناطق معتدل و مرطوب، شرایط برای کشت مستمرتر محصولات وجود دارد. این ممکن است منجر به استفاده بیشتر از کودها و عوامل شیمیایی دیگر شود که احتمالاً به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر می‌شود، به‌نحوی‌که طبق آمارنامه جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۳ استان مازندران در نزدیک به ۳۰ درصد مصرف کود و سموم کشور را به خود اختصاص داده که این رقم در سال ۱۴۰۰ به حدود ۱۲ درصد رسیده است.

جدول ۷- میزان پتانسیل گرمایش جهانی در کشت محصولات عمده زراعی (کیلوگرم CO_2 در هکتار)

دشت	کلزا	گندم
ساری	۲۳۱۳	۲۴۹۵
شریف‌آباد	۱۷۹۲	۲۲۹۹

نتیجه‌گیری

کشاورزی به‌عنوان یکی از عوامل اساسی تأمین غذا و منابع طبیعی در دو اقلیم گرم و خشک و معتدل و مرطوب دارای تأثیرات بسیاری بر شاخص‌های انرژی، بهره‌وری آب و انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در این دو اقلیم، شاخص‌های مهمی به‌منظور ارتقاء پایداری محیطی و اقتصادی در کشاورزی لحاظ می‌شوند. افزایش بهره‌وری انرژی و آب، همراه با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای،

میتواند کشاورزی را به سمت پایداری حرکت دهد و به تأمین امنیت غذایی و حفظ منابع طبیعی کمک کند. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر اقلیم‌های متفاوت (گرم و خشک و معتدل و مرطوب) بر شاخص‌های انرژی، بهره‌وری آب و انتشار گازهای گلخانه‌ای در دو دشت ساری و شریف‌آباد انجام شد. نتایج نشان داد که بالاترین میزان انرژی ورودی در دشت ساری و شریف‌آباد برای محصول گندم به‌ترتیب برابر با ۸۰۶۱۸ و ۷۱۰۷۲ مگاژول در هکتار به دست آمد. نتایج حاصل از بررسی وضعیت بهره‌وری فیزیکی آب نشان داد که بهره‌وری فیزیکی آب در دشت ساری برای محصولات گندم و کلزا به‌ترتیب برابر با ۱/۱۳ و ۰/۶۷ و کیلوگرم بر مترمکعب و در دشت شریف‌آباد به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب به دست‌آمد. نتایج حاصل برای انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان داد که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دشت ساری بیشتر از دشت شریف‌آباد بوده که علت این امر استفاده بیش‌ازحد کود و سموم در دشت ساری است به‌طوری‌که بالاترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دشت ساری برای محصول گندم برابر با ۲۴۹۵ و در دشت شریف‌آباد برابر با ۲۲۹۹ کیلوگرم CO_2 در هکتار به دست آمد. نتایج کلی نشان داد که عملکرد محصول در مناطق مرطوب بیشتر از مناطق خشک و نیمه‌خشک نبوده و این شاخص به پارامترهای مختلفی از جمله مصرف آب و بحث‌های مدیریتی و ... بستگی دارد؛ اما مصرف آب در مناطق معتدل و مرطوب به‌مراتب کمتر از مناطق خشک و نیمه‌خشک است که این امر باعث افزایش بهره‌وری فیزیکی آب در مناطق معتدل و مرطوب می‌شود. همچنین برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بهتر است مصرف بی‌رویه کود و سموم تا حدود زیادی کنترل و کاهش یابد.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بابت تامین هزینه‌های پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسنده مقاله است.

فهرست منابع

۱. احسانی، مهرزاد و خالدی، هومن، ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۱۶ صفحه.

۲. ازکیا، مصطفی، و دربان آستانه، علیرضا، ۱۳۹۳. روش‌های کاربردی تحقیق. تهران، انتشارات کیهان، ۵۳۸ صفحه.

۳. پازکی طرودی، محمد، عجم نوروزی، حسین، قنبری مالیدره، عباس، داداشی، محمدرضا، و دستان، سلمان، ۱۳۹۶. ارزیابی بیلان انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در مزارع تولید گندم (Triticum aestivum L.). *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۹(۴)، صص. ۱۱۶۸-۱۱۹۳. **doi: 10.22067/JAG.V9I4.54771**

۴. حیدری، فائزه، شرفی، سعید، و محمدی قلعه‌نی، مهدی، ۱۴۰۲. رابطه شاخص‌های خشکسالی با انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش کشاورزی ایران. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۷(۲)، صص. ۲۶۱-۲۷۵.

۵. خدائی جوقان، آیدین، تاکی، مرتضی، و مطوریان، حمید، ۱۴۰۱. سنجش بهره‌وری انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی و شاخص پایداری بوم نظام‌های گندم و کلزا در خرمشهر. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۲(۱)، صص. ۳۰۹-۳۲۴. **doi: 10.22034/SAPS.2021.44507.2634**

۶. درگاهی، محمدرضا، جهان، محسن، ناصری‌پور یزدی، محمدتقی، و قربانی، رضا، ۱۳۹۵. ارزیابی بیلان انرژی و تحلیل اقتصادی کلزا در استان گلستان. *پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۲۹(۳)، صص. ۵۰-۶۲. **doi: 10.22092/AJ.2016.112697**

۷. سپه‌وند، مراد، ۱۳۸۸. مقایسه نیاز آبی، بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی آن در گندم و کلزا در غرب کشور در سال‌های پر باران. *پژوهش آب ایران*، ۳(۴)، صص. ۶۳ – ۶۸.

۸. سلامتی، نادر، باغانی، جواد، و عباسی، فریبرز، ۱۳۹۷. تعیین بهره‌وری مصرف آب در سامانه‌های آبیاری سطحی و بارانی گندم (مطالعه موردی بهبهان). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۹(۴)، صص. ۸۲۱-۸۳۰.
doi: 10.22059/IJSWR.2017.240752.667747

۹. سلطانی، افشین، رجبی، محمدحسین، زینلی، ابراهیم، و سلطانی، الیاس، ۱۳۹۱. ارزیابی مصرف انرژی در تولید گندم در گرگان. *پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۱۹(۳)، صص. ۱۴۳-۱۷۱.

۱۰. نوری خواجه بلاغ، رسول، خالدیان، محمدرضا، و کاوسی کلاشمی، محمد، ۱۳۹۹. مقایسه شاخص‌های بهره‌وری آب محصولات عمده زراعی در دشت اردبیل. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۴(۳)، صص. ۸۹۴-۹۰۴.

۱۱. واحدی، عادل، و ظریف نشاط، سعید، ۱۴۰۰. مقایسه جریان انرژی تولید گندم آبی و تحلیل اقتصاد انرژی در برخی مناطق ایران. *ماشین‌های کشاورزی*، ۱۱(۲)، صص. ۵۰۵-۵۲۳.
doi: https://doi.org/10.22067/jam.v11i2.81747

12. Acaroglu, M., 1998. Energy from biomass, and applications. University of Selcuk, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Turkey, 43 pp.
13. Ararssa, A. A., Gebremariam, A.G., Mulat, W.L. and Mekonnen, M.M., 2019. Effects of irrigation management on yield and water productivity of Barley Hordeum vulgare in the upper Blue nile basin: case study in northern Gondar. *Water Conservation Science and Engineering*, 4, pp.113-121. doi: **https://doi.org/10.1007/s41101-019-00071-8**
14. Beheshti Tabar, I., Keyhani, A. and Rafiee, S., 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990–2006). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp.849-855.
15. Camargo, G.G., Ryan, M.R. and Richard, T.L., 2013. Energy use and greenhouse gas emissions from crop production using the farm energy analysis tool. *BioScience*, 63, pp.263-273. **doi: 10.1525/bio.2013.63.4.6**
16. Dastan, S., Siavoshi, M., Zakavi, D., Ghanbaria-malidarreh, A., Yadi, R., Ghorbannia Delavar, E. and Nasiri. A.R., 2012. Application of nitrogen and silicon rates on morphological and chemical lodging related characteristics in rice (Oryza sativa L.) north of Iran. *Journal of Agricultural Science*, vol.4, No.6.
17. De, D., Singh, R. and Chandra, H., 2001. Technological impact on energy consumption in rainfed soybean cultivation in Madhya Pradesh. *Applied Energy*, 70, pp.193-213. **doi: 10.1016/S0306-2619(01)00035-6**
18. Fan, X., Zhang, W., Chen, W. and Chen, B., 2020. Land–water–energy nexus in agricultural management for greenhouse gas mitigation. *Applied Energy*, 265, pp.114796. **doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114796**
19. Fan, Y., Wang, C. and Nan, Z., 2014. Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid Northwest China. *Agricultural Water Management*, 146, pp.335-345. **doi: 10.1016/j.agwat.2014.09.001**
20. Hatirli, S.A., Ozkan, B. and Fert, C., 2005. An econometric analysis of energy input–output in Turkish agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *9*(6), pp.608-623. **doi: 10.1016/j.rser.2004.07.001**
21. Hatirli, S.A., Ozkan, B. and Fert, C., 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*, 31, pp.427-438. **doi: 10.1016/j.renene.2005.04.007**
22. Heydari, N., 2014. Water productivity in agriculture: Challenges in concepts, terms and values. *Irrigation and Drainage*, 63(1), pp.22-28. (In Persian)
23. IPCC., 1995. Climate Change, the Science of Climate Change. In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. and Maskell, K., (Eds). Intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press.
24. Kitani, O., 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. American Society of Agricultural Engineers, United States of America.

25. Kramer, K.J., Moll, H.C. and Nonhebel, S., 1999. Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 72, pp.9-16. **doi: 10.1016/S0167-8809(98)00158-3**
26. Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. Environment International, *30*(7), pp.981-990. **doi: 10.1016/j.envint.2004.03.005**
27. Li, M., Fu, Q., Singh, V. P., Liu, D. and Li, T., 2019. Stochastic multi-objective modeling for optimization of water-food-energy nexus of irrigated agriculture. *Advances in Water Resources*, *127*(12), pp.209-224. **doi: 10.1016/j.advwatres.2019.03.015**
28. Mandal, K., Saha, K., Ghosh, P., Hati, K. and Bandyopadhyay, K., 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*, 23, pp.337-345. **doi: 10.1016/S0961-9534(02)00058-2**
29. Mansoori, H., Rezvani Moghaddam, P. and Moradi, R., 2012. Energy budget and economic analysis in conventional and organic rice production systems and organic scenarios in the transition period in Iran. *Frontiers in Energy*, 6(4), pp.341-350. **doi: 10.1007/s11708-012-0206-x**
30. Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H. and Nonhebel, S., 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, pp.724-733. **doi: 10.1016/j.rser.2013.11.012**
31. Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A. and Kijne, J., 2010. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, *97*(4), pp.528-535. **doi: 10.1016/j.agwat.2009.03.023**
32. Nouri-khjebelagh, R., Sefidkouhi, M.A.G. and Khoshravesh, M., 2023. Evaluation of energy indices and greenhouse gas emissions in major horticultural crops and paddy crops in Tajan plain. *Applied Water Science*, *13*(2), pp.39. **doi: 10.1007/s13201-022-01840-y**
33. Platis, D.P., Anagnostopoulos, C.D., Tsaboula, A.D., Menexes, G.C., Kalburtji, K.L. and Mamolos, A.P., 2019. Energy analysis, and carbon and water footprint for environmentally friendly farming practices in agroecosystems and agroforestry. *Sustainability*, 11, pp.1664. **doi: 10.3390/su11061664**
34. Singh, S. and Mittal, J.P., 1992. Energy in Production Agriculture. Mittal Pub, New Delhi.
35. Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E., Haberl, H., Harper, R., House, J. and Jafari, M., 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
36. Snyder, C., Bruulsema, T., Jensen, T. and Fixen, P., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 133, pp.247-266. **doi: 10.1016/j.agee.2009.04.021**

An Investigation on Physical Productivity of Water and Energy Indices in Two Contrasting Climates

S. Habibi, M. Khoshravesh*, and R. Nouri Khajebelagh

MSc Student of Water Resources Engineering, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
saeidhabibi990@yahoo.com

Associate Prof., Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. **khoshravesh_m24@yahoo.com; m.khoshravesh@sanru.ac.ir**

PhD Student of Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
Rassolrahaii@yahoo.com

Received: September 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

Water, food, and energy are three essential sources for maintaining life and fostering socio-economic development, and they are inseparably interconnected. The aim of the present study was to examine the indicators of water and energy efficiency of major agricultural products, namely, wheat and rapeseed, in two different climates in Sari (temperate and humid) and Sharifabad (hot and semi-arid) plains in Iran. To investigate these indicators in wheat and rapeseed crops, data from the agricultural year 2021-22 were utilized. Initially, the number of samples was determined based on the Cochran formula. Then, sampling was done using a questionnaire designed by the authors. The questionnaires numbered 300, and the collected information included inputs and production quantities. The results showed that the average water physical efficiencies in Sari Plain for wheat and rapeseed crops were 1.13 and 0.67 kg/m^3, while in Sharifabad Plain, it was 0.83 and 0.35 kg/m^3, respectively. Furthermore, the results indicated that the highest level of input energy in Sari and Sharifabad plains for wheat was 80618 and 71072 MJ/ha, respectively. The results also showed that greenhouse gas emissions were higher in Sari than in Sharifabad, probably because of excessive use of fertilizer and pesticide in Sari. The highest greenhouse gas emissions in Sari for wheat were 2495 kg CO_2/ha, and in Sharifabad, it was 2299 kg CO_2/ha. Overall, the results indicated that crop performance in humid regions was higher than in dry and semi-dry regions, and this indicator depends on various parameters, including water consumption and agronomic management.

Keywords: Canola, Energy productivity, Net energy, Rapeseed, Wheat

* - Corresponding author's email: **khoshravesh_m24@yahoo.com; m.khoshravesh@sanru.ac.ir**