

تعیین انرژی و آثار زیست‌محیطی مصرف آب در تولید گندم استان اصفهان

محسن حیدری سلطان‌آبادی^{۱*} و محسن دهقانی^۲

چکیده

از جمله موارد مصرف انرژی در جهان فعالیت‌های کشاورزی است. در کشاورزی با صرف انرژی نهاده‌های مصرفی، محصول تولید می‌شود که در این میان، آب به‌عنوان کلیدی‌ترین نهاده، همواره مدنظر بوده است. علاوه بر آن استفاده از سوخت‌های فسیلی و برق در پمپاژ آب، آثار زیست‌محیطی بر طبیعت وارد می‌کند که توجه به نوع و میزان این آثار از اهمیت خاصی برخوردار است. در تحقیق حاضر میزان انرژی مصرفی در استحصال آب مورد نیاز کشت گندم در سطح ۲۴ شهرستان استان اصفهان بررسی و محاسبه شد. همچنین آثار زیست‌محیطی استخراج و انتقال آب بر سر مزارع کشت گندم برآورد شد. نتایج نشان داد که به ازای مصرف هر واحد انرژی آب در استان، ۳/۳ واحد انرژی دانه و کاه گندم تولید می‌شود. همچنین میانگین استانی بهره‌وری انرژی آب در سطح استان ۰/۲۴ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمد. طبق نتایج حاصل از ارزیابی چرخه حیات تولید گندم و اثر مصرف آب در شهرستان‌های مختلف استان اصفهان، مقادیر شاخص گرمایش جهانی، پتانسیل اسیدی شدن، پتانسیل اوتریفیکاسیون خشکی، شاخص تخلیه منابع فسیلی و شاخص تخلیه منابع آب به ترتیب ۳۷۵/۲۶ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل، ۲/۴۹ کیلوگرم دی‌اکسید گوگرد معادل، ۱/۵۱ کیلوگرم اکسیدهای نیتروژن معادل، ۱۱۸۹/۲۹ مگاژول و ۱۹۸۷/۱۲ مترمکعب به ازای تولید هر تن گندم اندازه‌گیری شد. شاخص بوم‌شناخت ناشی از مصرف آب در گندم ۰/۱۶ و شاخص تخلیه منابع آب ۰/۷ برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، انرژی مصرفی، شاخص بوم‌شناخت، عملکرد، گندم.

ارجاع: حیدری سلطان‌آبادی م. و دهقانی م. ۱۳۹۹. تعیین انرژی و آثار زیست‌محیطی مصرف آب در تولید گندم استان اصفهان. مجله پژوهش آب ایران. ۱۳۹۹: ۳۹-۱۱۳.

۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

۲- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

* نویسنده مسئول: mheisol@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸

مقدمه

بشر همیشه برای تأمین نیازهای اولیه غذایی خود، مجبور به صرف انرژی بوده است. انرژی فسیلی فراوان باعث شده است که تأمین غذای جمعیت رو به گسترش، میسر شود. رشد جمعیت در سطح بالایی باقی مانده؛ ولی منابع انرژی به‌خصوص انرژی فسیلی در حال کاهش است؛ بنابراین جوامع نیازمند برنامه‌ریزی‌های اساسی در قبال مدیریت مصرف انرژی هستند (کوچکی، ۱۳۷۳). افزایش تقاضا برای مواد غذایی باعث تشدید در مصرف انرژی از طریق آبیاری، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، ماشین‌ها و سایر منابع طبیعی شده است. مصرف هر چه بیشتر انرژی مشکلات زیست‌محیطی را در پی دارد و موجب تخریب منابع طبیعی، آلودگی منابع و افزایش آثار زیست‌محیطی می‌شود (اردال و همکاران، ۲۰۰۷). نظام‌های زراعی متداول کاملاً متکی به مصرف انرژی به شکل نهاده‌های مختلف بوده و از جنبه‌های فن‌آوری، اقتصادی و زیست‌محیطی آسیب‌پذیر هستند. به همین دلیل در اواخر قرن بیستم دیدگاه‌های جدیدی در قالب افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها، حفاظت از محیط‌زیست و منابع طبیعی، اقتصاد اکولوژیک و درنهایت تأمین غذا و امنیت غذایی مطرح شده است. در این راستا نظام‌هایی با عناوین مختلف از جمله کشاورزی پایدار، کشاورزی اکولوژیک، کشاورزی کم‌نهاده، کشاورزی ارگانیک و کشاورزی تجدیدشونده تعریف شده‌اند (کوچکی، ۱۳۷۳). مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایران از مقدار ۳۰/۳۵ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۸۰ به ۵۴/۷۴ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۹۶ رسیده است و سهمی در حدود ۳/۹۵٪ مصرف انرژی نهایی را شامل می‌شود (بی‌نام، ۱۳۹۶). در تحقیقی روند انرژی ورودی و خروجی به سیستم‌های زراعی، در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش هزینه‌های عملکرد و تولید از طریق کاهش هزینه‌های مصرف انرژی بررسی شد. نتایج حاصل از مطالعه زینلزاده تبریزی و همکاران (۱۳۸۱) نشان داد که بیشترین هزینه انرژی مربوط به انرژی الکتریسته آبیاری برابر ۴۶/۵۵٪ بود. کودهای شیمیایی با ۳۱/۱۸٪ از انرژی کل در جایگاه دوم قرار داشت. نتایج مطالعه‌ای در بررسی روند مصرف انرژی کشاورزی نشان داد که بیشترین هزینه انرژی مصرفی مربوط به انرژی الکتریسته جهت پمپاژ آب می‌شد (۳۸٪). دومین مورد انرژی بر، کود شیمیایی بود

که با صرف ۳۶٪ از انرژی کل در رتبه بعدی قرار داشت (رضادوست، ۱۳۸۷). میسمی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی جریان انرژی بر اساس نسبت سهم انرژی ورودی‌های مختلف به مزرعه در سه محصول گندم آبی، گندم دیم و پیاز در سطح کشاورزان شهرستان بناب پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که در اکثر موارد، مصرف سوخت‌های فسیلی بیش از ۵۰٪ انرژی را به خود اختصاص داد. طبق همین نتایج با اصلاح روش‌های کشت، مصرف بهینه کودهای شیمیایی، کاهش مصرف بذر و اصلاح روش‌های آبیاری، می‌توان کارایی انرژی را تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش داد و از آلودگی و آثار مخرب زیست‌محیطی جلوگیری کرد.

آبیاری از جمله پرمصرف‌ترین نهاده‌های انرژی، در تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود. از طرفی هزینه‌های انرژی در انتخاب سامانه‌های آبیاری، مطرح و تأکید شده است که طراحان سیستم‌های آبیاری تحت فشار، باید بررسی و تعیین نیاز انرژی سیستم را در فرآیند طراحی مدنظر قرار دهند (فائو، ۲۰۰۲). در همین زمینه در مطالعه‌ای، میزان مصرف انرژی درحوضه زراعی کشور ایران تعیین و نشان داده شد که عملیات آبیاری با ۸۸۱۱۱ مگاژول بر هکتار، ۹۱٪ از کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است (بهشتی‌تبار و همکاران، ۲۰۱۰). با بررسی و مطالعه انرژی در کشت نیشکر در کشت و صنعت دعبل مشخص شد که سهم انرژی عملیات آبیاری، ۹۸٪ از کل انرژی مصرفی برای تأمین انرژی الکتریکی پمپاژ آب در سامانه آبیاری هیدروفلوم بود (کریمی و همکاران، ۲۰۰۸).

در بین تولیدات کشاورزی در ایران، گندم جایگاه نخست را از نظر سطح زیر کشت و عملکرد محصول به خود اختصاص داده است (بی‌نام، ۱۳۹۸). به همین دلیل بررسی روند مصرف آب و انرژی در تولید این محصول استراتژیک از جایگاه خاصی برخوردار است. تساتسرلیس (۱۹۹۳) بررسی انرژی ورودی و خروجی برای کشت گندم آبی زمستانه در یونان نشان داد نهاده‌های کودهای شیمیایی و سوخت دیزل به میزان ۸۱ تا ۸۴٪ بیشترین سهم را از کل انرژی ورودی داشتند. در مطالعه‌ای ضریب انرژی آبیاری برای تولید گندم آبی در هندوستان برابر ۷۴۱/۱۹ مگاژول بر هکتار گزارش شد (سیدهو و همکاران، ۲۰۰۴). در تحقیقی، انصاری و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند در کشت گندم، آبیاری به تنهایی ۶۳٪ از کل انرژی

مواد و روش‌ها

سطح زیر کشت گندم آبی در استان اصفهان ۳۵۰۳۹ هکتار بوده که از این سطح ۱۴۸۰۱۱ تن گندم تولید شده است (بی‌نام، ۱۳۹۸). با توجه به اهمیت نقش آب و انرژی مورد نیاز تأمین آن در تولید محصول گندم آبی و نیز آثاری که بر محیط‌زیست دارد، این تحقیق طی سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ در استان اصفهان انجام شد. برای دستیابی به اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه، پرسش‌نامه‌ای طراحی شد که برای ارزیابی آن با تعدادی از کشاورزان خبره، کارشناسان آبیاری و تکنسین‌های کشاورزی مصاحبه شد. سپس پرسش‌نامه در اختیار زارعان گندم‌کار ۲۴ شهرستان استان اصفهان قرار گرفت. انتخاب زارعی که پرسش‌نامه‌ها را تکمیل کردند، با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی سیستماتیک (منظم) انجام شد. در این روش برای به دست آوردن تعداد نمونه از جامعه آماری هدف از رابطه کوکران (معادله (۱)) استفاده شد (یارمحمدی، ۱۳۸۴):

$$n = \frac{Nz^2 pq}{Nd^2 + z^2 pq} \quad (1)$$

در این معادله n تعداد نمونه (تکمیل‌کنندگان پرسش‌نامه)، N، تعداد جامعه آماری (کل زارعان گندم‌کار)، z، مقدار متغیر نرمال واحد استاندارد که در سطح اطمینان ۹۵٪ برابر ۱/۹۶ است، P، مقدار نسبت صفت موجود در جامعه (اگر در اختیار نباشد می‌توان آن را ۰/۵ در نظر گرفت، q، درصد افراد فاقد صفت مورد نظر در جامعه (q=p-1) و d مقدار اشتباه مجاز که ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. با توجه به تعداد کل ۳۱۱۹۲ نفر گندم‌کار استان و بر اساس معادله (۱)، ۳۸۰ پرسش‌نامه تکمیل شد. روایی و پایایی پرسش‌نامه طراحی شده از روش‌های مصاحبه و تحقیق میدانی برای تکمیل اطلاعات، تعیین و تصدیق شد. عملیات تعیین تعداد کل گندم‌کاران و تعداد زارعان نمونه (تکمیل‌کنندگان پرسش‌نامه)، به تفکیک هر شهرستان انجام شد.

در پرسش‌نامه طراحی شده اطلاعاتی از قبیل سطح زیر کشت گندم، منبع آب آبیاری (سطحی یا زیرزمینی) و منبع توان استحصال آب (موتور دیزلی یا برقی) از کشاورزان دریافت شد. همچنین در طول تحقیق و به روش اندازه‌گیری مستقیم، مواردی شامل سطح دینامیکی آب (ارتفاع پمپاژ)، دبی پمپاژ، کل ساعات آبیاری، میزان

مصرفی را به خود اختصاص داد. در بررسی که در مورد انرژی صرف شده برای آب در میان خانواده غلات انجام شد، بیان شد کشت برنج انرژی بیشتری نسبت به گندم صرف می‌کند و علت بالا بودن این انرژی به خاطر مصرف زیاد آب در کشت این محصول است (پاتهاک و بینینگ، ۲۰۰۳). محمدی و همکاران (۱۳۹۵) متوسط انرژی مصرفی در کل کشور برای تولید گندم را در حدود ۱۲٪ از کل انرژی مصرفی برآورد کردند. طبق نتایج تحقیقی سطح کشت‌زار کمتر از ۳ هکتار کم‌ترین و سطح کشت‌زار ۸ هکتار به بالا بیشترین مصرف انرژی آبیاری را در کشت گندم دارا بود. همچنین استفاده از روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری تحت فشار و همچنین تعویض پمپ‌های آب فرسوده و جایگزینی آن‌ها با پمپ‌های با بازدهی مناسب در کاهش مصرف انرژی آبیاری مؤثر خواهد بود (زوله، ۱۳۹۰). مطابق دیگر بررسی‌ها در دو محصول گندم و کلزا بیشترین انرژی ورودی به ترتیب مربوط به کود شیمیایی، سوخت و آبیاری بود (ملائی و افضل‌نیا، ۱۳۹۱). صفا و طباطبایی‌فر (۲۰۰۲) در اندازه‌گیری انرژی مصرفی در تولید گندم آبی و دیم در منطقه ساوه، کارایی مصرف انرژی در این دو را به ترتیب ۰/۶۷ و ۱/۱۷ گزارش کردند. همچنین بیشترین نهاده مصرفی در گندم آبی، مربوط به آبیاری (۲۰/۹ گیگاژول بر هکتار) و در گندم دیم، مربوط به کود شیمیایی (۵ گیگاژول بر هکتار) بود. در آبیاری محصولات کشاورزی آثار زیست‌محیطی مصرف آب را نیز باید در نظر گرفت. این آثار شامل تخلیه منابع آب، تخلیه منابع فسیلی و مخاطراتی است که مصرف انرژی در آبیاری ایجاد می‌کند. از جمله این مخاطرات می‌توان به انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش گرمای زمین و سمیت آب و خاک اشاره کرد (ذوقی‌پور و ترکمانی، ۱۳۸۶).

نقش اساسی آب و آبیاری در تولید محصولات کشاورزی و نیز اهمیت محصول استراتژیک گندم بر کسی پوشیده نیست. از طرفی وضعیت خاص استان اصفهان در تأمین آب مورد نیاز محصول گندم، ضرورت بررسی انرژی مصرفی در استحصال آب و آثار آن بر محیط‌زیست را به خوبی روشن می‌کند. هدف از انجام تحقیق حاضر، برآورد انرژی مصرفی و آثار زیست‌محیطی آن در آبیاری محصول گندم آبی استان اصفهان است.

روش میزان نهاده‌های مصرفی (آب) در طول چرخه تولید محصول مورد نظر تعیین، با توجه به آن‌ها میزان انتشار آلاینده‌ها برآورد و در نهایت شاخص‌هایی برای ارزیابی آثار زیست‌محیطی محاسبه و تجزیه و تحلیل می‌شود. ارزیابی چرخه حیات دارای چهار گام، تعریف اهداف، حوزه عمل مطالعه (دامنه کاربرد)، ممیزی چرخه حیات (تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه) و ارزیابی و تفسیر تأثیر چرخه حیات است (ایریارت و همکاران، ۲۰۱۰). در مطالعه حاضر، هدف و حوزه عمل مطالعه، بررسی آثار زیست‌محیطی مصرف آب در تولید گندم با واحد کارکردی یک تن تولید گندم است. در قسمت ممیزی چرخه حیات، میزان مصرف آب و مقادیر سوخت دیزل و الکتریسیته که برای پمپاژ آن مصرف می‌شود، به‌عنوان نهاده‌های دارای آثار منفی روی محیط‌زیست و خطرناک بودن در تولید آینده، در نظر گرفته شد. سپس مقادیر آلاینده‌های انتشار یافته به محیط‌زیست بر مبنای واحد کارکردی بر اساس مندرجات جدول ۱ محاسبه شد (برنترپ و همکاران، ۲۰۰۰). در ارزیابی تأثیر چرخه حیات، تجزیه و تحلیل کمی نتایج بخش ممیزی انجام شد. این بخش در مطالعات مشابه دارای سه مرحله طبقه‌بندی^۱، نرمال‌سازی^۲ و وزن‌دهی^۳ است (میرحاجی و همکاران، ۱۳۹۲). در طبقه‌بندی، مقادیر گروه‌های تأثیر و میزان مشارکت هر یک از آلاینده‌های تولید شده در ایجاد پنج گروه تأثیر زیست‌محیطی گرمایش جهانی، اسیدیته، اوتریفیکاسیون خشکی، تخلیه منابع فسیلی و تخلیه منابع آب مشخص شد (ویژه‌سازی - جدول ۲). در آخرین مرحله ارزیابی چرخه حیات، شاخص زیست‌محیطی با عنوان شاخص بوم‌شناخت (Eco-Index) که معیار نهایی ارزیابی تأثیر چرخه حیات است و نیز شاخص تخلیه منابع از طریق نرمال‌سازی و وزن‌دهی گروه‌های تأثیر زیست‌محیطی (جدول ۳) محاسبه شد (برنترپ و همکاران، ۲۰۰۴).

نتایج و بحث

پس از بررسی و جمع‌آوری داده‌های مربوط به نهاده مصرفی آب و نیز عملکرد دانه و گندم در ۲۴ شهرستان استان اصفهان، میانگین مقادیر هر شهرستان ثبت شد. جدول ۴ نتایج حاصل از برآورد میانگین‌های

مصرف سوخت دیزل، میزان برق مصرفی، عملکرد محصول اصلی (دانه) و عملکرد محصول فرعی (کاه) تعیین شد. انرژی مستقیم مصرفی برای رساندن آب به گیاه از طریق محاسبه انرژی معادل برق یا سوخت مصرفی در الکتروموتورها و موتورهای دیزلی یا محاسبه انرژی پمپاژ آب (رابطه ۲) محاسبه می‌شود (الماسی و همکاران، ۱۳۷۸). در تحقیق حاضر برای محاسبه انرژی مستقیم آب از معادله (۲) استفاده شد:

$$E_{ir} = \left(\frac{d \cdot g \cdot H \cdot Q}{n_1 \cdot n_0} \right) / 1000000 \quad (2)$$

که در آن E_{ir} انرژی آبیاری بر حسب مگاژول بر هکتار، δ چگالی آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، g شتاب جاذبه بر حسب متر بر مجذور ثانیه، H هد یا سطح دینامیکی چاه بر حسب متر، Q کل آب مورد نیاز گیاه (گندم) طی دوره رشد بر حسب مترمکعب بر هکتار، n_1 بازده پمپ (۷۰-۹۰٪) و n_0 بازده کلی تبدیل توان در الکتروموتور یا موتور دیزلی (۲۲-۱۸٪) برای الکترو موتور و ۲۵-۳۰٪ برای موتور دیزل) است. انرژی غیرمستقیم آب آبیاری شامل انرژی تولید مواد اولیه خام، ساخت و انتقال کلیه عواملی است که در آبیاری دخالت دارند؛ اما با توجه به اینکه محاسبه این مقادیر مشکل است، معمولاً درصدی (حدود ۲۰٪) از انرژی مستقیم را برای این منظور در نظر می‌گیرند (الماسی و همکاران، ۱۳۷۸). پس از دستیابی به انرژی مصرفی آبیاری در گندم، انرژی تولیدی یا خروجی ناشی از تولید دانه و کاه از معادله (۳) به دست آمد (برهان و همکاران، ۲۰۰۴):

$$E_g = EI_g \cdot W \quad (3)$$

که در آن E_g انرژی تولیدی گندم بر حسب مگاژول بر هکتار، EI_g هم‌ارز انرژی محصول که برای دانه ۱۴/۷ مگاژول بر کیلوگرم و برای کاه ۱۲/۵ مگاژول بر کیلوگرم در نظر گرفته شد (برهان و همکاران، ۲۰۰۴) و W میانگین وزن محصول برداشت شده بر حسب کیلوگرم بر هکتار. در ادامه، دو شاخص بازده و بهره‌وری انرژی آبیاری محاسبه شد. بازده و بهره‌وری انرژی آبیاری به‌ترتیب عبارتند از نسبت مجموع انرژی‌های خروجی (انرژی محصولات تولیدی) و مقدار محصول تولید شده به انرژی مصرفی در آبیاری.

برای تعیین آثار زیست‌محیطی مصرف انرژی در آبیاری گندم از روش ارزیابی چرخه حیات استفاده شد. در این

1- Characterization
2- Normalization
3- Weighthting

متغیر است. میانگین استانی این پارامتر در سطح استان اصفهان ۰/۲۴ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمد. در پژوهش مشابهی انرژی مصرفی آب برای کشت گندم در اقلید با مصرف ۱۰۳۶۸ مترمکعب در هکتار ۶۵۳۱ مگاژول محاسبه شد (ملائی و افضل‌نیا، ۱۳۹۱)؛ در حالی که انرژی آبیاری برای گندم تولیدی گرگان ۴۰۸۰ مگاژول بر هکتار و برای گندم مرودشت ۶۵۴۸/۴ کیلوگرم بر مگاژول گزارش شد (کاظمی و زارع، ۲۰۱۴). طبق نتایج تحقیق حاضر، این مقدار در استان اصفهان ۵۰۹۵۲ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. ذکر این نکته مهم است که قسمت عمده آب گندم تولیدی استان از منابع زیر زمینی تأمین می‌شود. از طرفی بخش اعظم انرژی آبیاری صرف پمپاژ آب از منابع زیر زمینی می‌شود. این انرژی به مجموع آب مصرفی (گندم)، ارتفاع پمپاژ و بازده پمپ و منبع توان بستگی دارد (رابطه ۳). بنابراین تغییر هر یک از این مقادیر، انرژی مصرفی آبیاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از جمله دلایل بالا بودن انرژی آبیاری در استان اصفهان کاهش سطح آب‌های زیر زمینی و افزایش شدید ارتفاع مکش پمپ‌های آب است. محاسبات تحقیق حاضر نشان می‌دهد به صورت متوسط با کاهش یک متر ارتفاع آب زیر زمینی، ۲٪ به انرژی آبیاری اضافه می‌شود.

انرژی آب مصرفی، انرژی گندم تولیدی، نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی آب در تولید گندم را نشان می‌دهد. طبق نتایج این جدول شهرستان لنجان با نسبت انرژی ۱۰/۷۳ بیشترین و شهرستان آران و بیدگل با نسبت ۱/۴ کمترین مقدار نسبت انرژی تولیدی گندم به انرژی مصرفی آب را به خود اختصاص دادند. این نسبت برای میانگین استان در حدود ۳/۳ به دست آمد. به عبارت ساده‌تر به ازاء مصرف هر واحد انرژی آب در استان، ۳/۳ واحد انرژی دانه و گاه گندم تولید می‌شود. از جمله دلایل اختلاف نسبت انرژی در شهرستان‌های مختلف استان اصفهان، می‌توان به تفاوت عملکرد گندم و انرژی پمپاژ آب اشاره کرد. در برخی از شهرستان‌ها مانند آران و بیدگل به دلیل وضعیت اقلیمی و کیفیت آب و خاک، عملکرد گندم و به تبع انرژی استحصالی از آن نسبت به دیگر شهرستان‌ها کمتر است. از طرفی در برخی از موقعیت‌های جغرافیایی استان، سطح ایستابی آب به صورت چشمگیر پایین‌تر از دیگر نقاط است که این عامل انرژی پمپاژ آب را افزایش می‌دهد. عوامل یاد شده بر شاخص بهره‌وری انرژی نیز تأثیرگذار بوده است. بررسی بهره‌وری انرژی آب نشان داد که مقدار آن از ۰/۱۰ کیلوگرم بر مگاژول در شهرستان آران و بیدگل تا ۰/۷۹ کیلوگرم بر مگاژول در شهرستان لنجان

جدول ۱- ضرایب انتشار انواع آلاینده‌های ناشی از مصرف نهاده آب

منابع	آلاینده‌های انتشار یافته (کیلوگرم بر واحد)						ورودی‌ها
	SO ₂	NH ₃	CO ₂	NO _x	N ₂ O	CH ₄	
تزیلیواکیز و همکاران (۲۰۰۵)	۰/۰۰۴	-	۲/۶۳	۰/۰۲۲۲	۰/۰۰۰۰۱۸۱	۰/۰۰۰۱۷۳	سوخت دیزل (لیتر)
تزیلیواکیز و همکاران (۲۰۰۵)	۰/۰۰۲۷۶	۰/۰۰۰۰۱	۰/۵۸۰	۰/۰۰۱۲۱	-	-	الکتریسیته (کیلووات ساعت)

جدول ۲- طبقه‌بندی گروه‌های تأثیر در تولید گندم بر اساس نوع آلاینده و ضرایب یکسان‌سازی

منبع	کارایی هر ترکیب	ترکیب آلاینده‌ها/تخلیه منابع	گروه تأثیر (واحد)
اسنادر و همکاران (۲۰۰۹)	CO ₂ =1, CH ₄ =21, N ₂ O=310	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	گرمایش جهانی (kg CO ₂ eq)
برنتراب و همکاران (۲۰۰۴)	SO ₂ =1.2, NO _x =0.5, NH ₃ =1.6	NH ₃ , SO ₂ , NO _x	اسیدیته (kg SO ₂ eq)
خرمدل و همکاران، (۱۳۹۱)	NH ₃ =4.4, NO _x =1.2	NO _x , NH ₃	اوتریفیکاسیون خشکی (kg NO _x eq)
برنتراب و همکاران (۲۰۰۴)	۴۲/۸۶	مصرف گازوئیل	تخلیه منابع فسیلی (MJ)
بوراتی و همکاران (۲۰۰۹)	۱	مصرف آب	تخلیه منابع آب (مترمکعب)

جدول ۳- فاکتورهای نرمال‌سازی و وزن‌دهی گروه‌های تأثیر

منبع	فاکتور وزن‌دهی	فاکتور نرمال‌سازی	گروه تأثیر
میرحاجی و همکاران (۱۳۹۲)	۱/۰۵	۸۱۴۳ (kg CO ₂ eq)	گرمایش جهانی
میرحاجی و همکاران (۱۳۹۲)	۱/۸	۵۲ (kg SO ₂ eq)	اسیدیته
میرحاجی و همکاران (۱۳۹۲)	۱/۴	۶۳ (kg NO _x eq)	اوتریفیکاسیون خشکی
میرحاجی و همکاران (۱۳۹۲)	۱/۱۴	۳۹۱۶۷ (MJ)	تخلیه منابع فسیلی
وانگ و همکاران (۲۰۱۰)	۰/۲۱	۶۲۶/۳۶ (مترمکعب)	تخلیه منابع آب

جدول ۴- میانگین‌های انرژی معادل آب مصرفی، انرژی گندم تولیدی، نسبت و بهره‌وری انرژی آب در تولید گندم

نام شهرستان	انرژی آب مصرفی (مگاژول بر هکتار)	انرژی گندم تولیدی (مگاژول بر هکتار)	نسبت انرژی آب	بهره‌وری انرژی آب (کیلوگرم بر مگاژول)
اردستان	۸۶۳۲۸	۱۳۸۱۰۵	۱/۶	۰/۱۱
اصفهان	۶۷۳۴۵	۱۴۱۵۷۰	۲/۱	۰/۱۵
آران و بیدگل	۶۸۲۲۸	۹۷۵۱۵	۱/۴	۰/۱۰
برخوار	۷۵۹۲۹	۱۳۶۱۲۵	۱/۷۹	۰/۱۳
بوئین	۳۲۹۸۶	۱۳۲۶۶۰	۴	۰/۲۹
تیران و کرون	۲۸۱۷۹	۱۲۰۷۸۰	۴/۲۸	۰/۳۱
چادگان	۵۳۳۱۷	۱۲۷۷۱۰	۲/۳۹	۰/۱۷
خمینی شهر	۵۴۲۰۰	۱۵۹۳۹۰	۲/۹۴	۰/۲۱
خوانسار	۳۴۰۶۵	۱۱۳۳۵۵	۳/۳۲	۰/۲۴
خور و بیابانک	۲۴۶۶۷	۹۳۰۶۰	۳/۷۷	۰/۲۷
دهاقان	۳۴۷۵۱	۱۲۸۷۰۰	۳/۷	۰/۲۷
سمیرم	۳۸۴۰۶	۸۸۶۰۵	۲/۳	۰/۱۷
شاهین شهر	۶۴۳۵۳	۱۴۹۴۹۰	۲/۳۲	۰/۱۷
شهرضا	۹۳۷۸۳	۱۵۲۴۶۰	۱/۶۲	۰/۱۲
فریدن	۴۳۹۴۸	۱۰۶۹۲۰	۲/۴۳	۰/۱۸
فریدونشهر	۶۲۵۸۷	۱۱۳۸۵۰	۱/۸۲	۰/۱۳
فلاورجان	۱۸۸۲۵	۱۸۰۶۷۵	۹/۵۹	۰/۷۱
کاشان	۷۱۱۲۲	۱۲۹۶۹۰	۱/۸۲	۰/۱۳
گلپایگان	۳۶۶۸۹	۱۴۴۵۴۰	۳/۹۴	۰/۲۹
لنجان	۱۵۴۵۰	۱۶۵۸۲۵	۱۰/۷۳	۰/۷۹
مبارکه	۴۱۱۸۲	۱۵۵۹۲۵	۳/۷۸	۰/۲۸
نایین	۳۳۳۲۹	۱۲۹۱۹۵	۳/۸۷	۰/۲۸
نجف آباد	۶۲۴۷۷	۱۳۵۱۳۵	۲/۱۶	۰/۱۶
نطنز	۸۰۷۱۱	۱۲۵۷۳۰	۱/۵۵	۰/۱۱
میانگین استان	۵۰۹۵۲	۱۳۱۹۵۸/۸	۳/۳	۰/۲۴

گرمایش زمین به ترتیب با ضرایب ۲۱ و ۳۱۰ در نظر گرفته می‌شوند (جدول ۲). هر دوی این گازها در اثر مصرف سوخت دیزل تولید می‌شوند. گروه تأثیر پتانسیل اسیدی شدن از مقدار ۰/۲۹ کیلوگرم دی‌اکسید گوگرد معادل (شهرستان لنجان) تا ۴/۸۸ کیلوگرم دی‌اکسید گوگرد معادل (شهرستان آران و بیدگل) متغیر بود و میانگین استانی آن مقدار ۲/۴۹ کیلوگرم دی‌اکسید گوگرد معادل محاسبه شد. ترکیبات اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، آمونیاک (NH_3) و دی‌اکسید گوگرد (SO_2) نقش اساسی در تشکیل املاح و ترکیبات معدنی دارند که موجب اسیدی شدن خاک و ایجاد سمی شدن در گیاهان می‌شوند. این مواد نیز علاوه بر مصرف کودهای شیمیایی، در اثر مصرف سوخت دیزل و جریان الکتریسیته به محیط وارد می‌شود (جدول ۱). گروه تأثیر پتانسیل اوتروفیکاسیون خشکی از مقدار ۰/۱۸ کیلوگرم اکسیدهای

نتایج حاصل از ارزیابی چرخه حیات تولید گندم در شهرستان‌های مختلف استان اصفهان در جدول ۵ ارائه شده است. طبق نتایج این جدول، گروه تأثیر گرمایش جهانی ناشی از مصرف آب برای تولید یک تن گندم در استان اصفهان از مقدار ۴۴/۸۷ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل (شهرستان لنجان) تا ۷۳۶/۹ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل (شهرستان آران و بیدگل) متغیر است و میانگین استانی آن مقدار ۳۷۵/۲۶ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل به دست آمد. سه گاز گلخانه‌ای متان (CH_4)، مونوکسید دی‌نیتروژن یا نیتروز اکساید (N_2O) و دی‌اکسید کربن (CO_2) عوامل تشدیدکننده گرم شدن کره زمین و تغییر اقلیم هستند که یکی از عوامل تولید آن‌ها، مصرف سوخت دیزل و جریان برق در پمپاژ آب مصرفی گندم است (جدول ۱). در بین سه گاز یاد شده تأثیر گاز متان (CH_4) و نیتروز اکساید (N_2O) در

مترمکعب (شهرستان سمیرم) متغیر بود و میانگین استانی آن مقدار ۱۹۸۷/۱۲ مترمکعب به ازای هر تن گندم حاصل شد. تخلیه منابع آب تابع مقدار آب مصرفی و عملکرد گندم است؛ از این رو در شهرستان‌های مورد مطالعه، اختلاف موجود در تخلیه منابع آب، ناشی از تفاوت در آب مصرفی و عملکرد گندم در هر شهرستان است. کمترین و بیشترین شاخص بوم‌شناخت ناشی از مصرف آب در گندم به ترتیب ۰/۰۲ (شهرستان لنجان) و ۰/۳۳ (شهرستان آران و بیدگل) بود که میانگین استانی آن ۰/۱۶ به دست آمد. شاخص بوم‌شناختی ترکیبی از آثار نرمال و وزن‌دهی شده گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی، اسیدیته، اوتریفیکاسیون خشکی، تخلیه منابع فسیلی و تخلیه منابع آب است (جدول ۳). بر این اساس در مناطقی که مقادیر گروه‌های تأثیر بیشتر بود. شاخص بوم‌شناخت نیز افزایش نشان داد. شاخص تخلیه منابع که در این جا به مجموع تخلیه منابع فسیلی و آب اشاره دارد، بین مقادیر ۰/۴۶ (شهرستان لنجان) تا ۱/۰۱ (شهرستان سمیرم) بود که میانگین استانی آن ۰/۷ شد.

نیترژن معادل (شهرستان لنجان) تا ۲/۹۸ کیلوگرم اکسیدهای نیترژن معادل (شهرستان آران و بیدگل) متغیر بود و میانگین استانی آن مقدار ۱/۵۱ کیلوگرم اکسیدهای نیترژن معادل برآورد شد. از عوامل تشدید اوتریفیکاسیون خشکی دو ترکیب آمونونیک (NH_3) و اکسیدهای نیترژن (NO_x) هستند که در اثر مصرف کودهای شیمیایی، سوخت دیزل و برق تولید می‌شوند (جدول ۱). گروه تأثیر تخلیه منابع فسیلی ناشی از مصرف آب از مقدار ۱۴۱/۹۴ مگاژول (شهرستان لنجان) تا ۲۳۳۵/۳۹ مگاژول (شهرستان آران و بیدگل) متغیر بود و میانگین استانی آن مقدار ۱۱۸۹/۲۹ مگاژول به ازای هر تن گندم به دست آمد. تخلیه منابع فسیلی براساس مصرف سوخت گازوئیل (دیزل) در موتورهای دیزلی سنجیده می‌شود. آنچه مسلم است کاربرد موتورهای دیزل و افزایش ارتفاع پمپاژ آب در این موتورها، به روند مصرف گازوئیل و تبع آن تخلیه منابع فسیلی را سرعت می‌بخشد. گروه تأثیر تخلیه منابع آب که نمایانگر آب مصرفی به ازاء تولید هر تن دانه گندم است، از مقدار ۱۳۷۳/۸۱ مترمکعب (شهرستان لنجان) تا ۲۹۳۳/۲۸

جدول ۵- شاخص‌های ارزیابی چرخه حیات ناشی از مصرف آب در تولید یک تن گندم در استان اصفهان

نام شهرستان	گرمایش جهانی (kg CO ₂ eq)	اسیدیته (kg SO ₂ eq)	اوتریفیکاسیون خشکی (kg NO _x eq)	تخلیه منابع فسیلی (مگاژول)	تخلیه منابع آب (مترمکعب)	شاخص بوم‌شناخت	شاخص تخلیه منابع آب
اردستان	۶۴۵/۹۷	۴/۲۸	۲/۶۱	۲۰۴۷/۲۳	۲۰۲۴/۹۴	۰/۲۹	۰/۷۳
اصفهان	۴۷۶/۶۷	۳/۱۶	۱/۹۲	۱۵۱۰/۶۶	۱۸۵۳/۳۳	۰/۲۱	۰/۶۶
آران و بیدگل	۷۳۶/۹۰	۴/۸۸	۲/۹۸	۲۳۳۵/۳۹	۱۹۷۹/۸۹	۰/۳۳	۰/۷۳
برخوار	۵۷۰/۶۹	۳/۷۸	۲/۳۰	۱۸۰۸/۶۳	۱۹۲۷/۳۴	۰/۲۵	۰/۶۹
بوئین و میاندشت	۱۹۸/۸۸	۱/۳۱	۰/۸۰	۶۳۰/۳۰	۲۰۱۵/۲۲	۰/۰۸	۰/۶۹
تیران و کرون	۱۸۶/۸۳	۱/۲۳	۰/۷۵	۵۹۲/۱۱	۱۸۸۶/۳۷	۰/۰۸	۰/۶۴
چادگان	۳۹۸/۶۴	۲/۶۴	۱/۶۱	۱۲۶۳/۳۹	۲۰۳۴/۸۸	۰/۱۷	۰/۷۱
خمینی شهر	۳۲۹/۰۳	۲/۱۸	۱/۳۳	۱۰۴۲/۷۶	۱۵۶۸/۳۹	۰/۱۴	۰/۵۵
خوانسار	۲۵۵/۶۲	۱/۶۹	۱/۰۳	۸۱۰/۱۳	۲۱۱۸/۱۸	۰/۱۱	۰/۷۳
خور و بیابانک	۱۷۹/۷۶	۱/۱۹	۰/۷۲	۵۶۹/۷۰	۲۸۱۹/۳۴	۰/۰۸	۰/۹۶
دهقان	۲۱۵/۷۵	۱/۴۳	۰/۸۷	۶۸۳/۷۶	۲۱۹۲/۴۷	۰/۰۹	۰/۷۵
سمیرم	۳۷۴/۵۳	۲/۴۸	۱/۵۱	۱۱۸۶/۹۶	۲۹۳۳/۲۸	۰/۱۶	۱/۰۱
شاهین شهر	۴۳۶/۱۷	۲/۸۹	۱/۷۶	۱۳۸۲/۳۲	۱۵۷۶/۱۹	۰/۱۹	۰/۵۶
شهرضا	۶۴۰/۲۱	۴/۲۴	۲/۵۹	۲۰۲۸/۹۶	۱۸۹۹/۴۷	۰/۲۸	۰/۶۹

ادامه جدول ۵- شاخص‌های ارزیابی چرخه حیات ناشی از مصرف آب در تولید یک تن گندم در استان اصفهان

نام شهرستان	گرمايش جهاني (kg CO ₂ eq)	اسيديته (kg SO ₂ eq)	اوتريفيکاسيون خشکي (kg NO _x eq)	تخليه منابع فسيلي (مگاژول)	تخليه منابع آب (مترمکعب)	شاخص بوم‌شناخت	شاخص تخليه منابع آب
فریدن	۳۶۰/۸۵	۲/۳۹	۱/۴۵	۱۱۴۳/۶۲	۲۶۶۱/۹۴	۰/۱۶	۰/۹۲
فريدونشهر	۵۳۳/۶۰	۳/۵۳	۲/۱۵	۱۶۹۱/۰۹	۲۵۰۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۸۸
فلاورجان	۵۷/۷۶	۰/۳۷	۰/۲۳	۱۷۹/۹۰	۱۳۹۷/۳۳	۰/۰۲	۰/۴۷
کاشان	۵۷۴/۲۳	۳/۸۱	۲/۳۲	۱۸۱۹/۸۶	۱۶۲۲/۳۰	۰/۲۵	۰/۵۹
گلپایگان	۲۳۵/۲۱	۱/۵۶	۰/۹۵	۷۴۵/۴۵	۱۳۸۷/۱۷	۰/۱۰	۰/۴۸
لنجان	۴۴/۷۸	۰/۲۹	۰/۱۸	۱۴۱/۹۴	۱۳۷۳/۸۱	۰/۰۲	۰/۴۶
مبارکه	۲۲۶/۶۵	۱/۵۰	۰/۹۱	۷۱۸/۳۱	۱۸۱۹/۰۴	۰/۱۰	۰/۶۳
نابین	۲۰۶/۹۸	۱/۳۷	۰/۸۳	۶۵۵/۹۶	۲۰۷۶/۵۵	۰/۰۹	۰/۷۱
نجف آباد	۴۵۷/۸۷	۳/۰۳	۱/۸۵	۱۴۵۱/۰۸	۱۹۱۲/۰۸	۰/۲۰	۰/۶۸
نطنز	۶۶۳/۷۳	۴/۴۰	۲/۶۸	۲۱۰۳/۵۰	۲۱۱۱/۲۹	۰/۲۹	۰/۷۶
میانگین استان	۳۷۵/۲۶	۲/۴۹	۱/۵۱	۱۱۸۹/۲۹	۱۹۸۷/۱۲	۰/۱۶	۰/۷۰

نتیجه‌گیری

وضعیت خاص استان اصفهان در تأمین آب مورد نیاز محصول گندم، ضرورت بررسی انرژی مصرفی در آبیاری و آثار زیست‌محیطی آن را به خوبی روشن می‌کند. در این زمینه انرژی مصرفی آبیاری برای تولید گندم در سطح ۲۴ شهرستان استان اصفهان تعیین و آثار زیست‌محیطی آن در قالب پنج گروه تأثیر مورد مقایسه قرار گرفت. طبق نتایج مقدار انرژی مصرفی در استان اصفهان برای آبیاری گندم در حدود ۵۰۹۵۲ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. از جمله دلایل بالا بودن انرژی آبیاری در استان اصفهان کاهش سطح آب‌های زیر زمینی و افزایش ارتفاع مکش پمپ‌های آب است. متوسط بهره‌وری انرژی آب در استان ۰/۲۴ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمد که هر اقدامی در جهت افزایش عملکرد یا کاهش مصرف انرژی موجب بهبود بهره‌وری خواهد شد. این اقدامات را می‌توان در دو حوزه وضعیت پمپاژ آب و وضعیت زراعی تولید گندم تقسیم‌بندی نمود. در قسمت اول می‌توان اقداماتی نظیر نصب پمپ و موتورهای متناسب با وضعیت پمپاژ و تعمیر و تعویض قطعات فرسوده پمپ و موتور را انجام داد. در بخش دوم اصلاح الگوی کشت هر منطقه بر حسب وضعیت و محدودیت‌های منابع آب، استفاده از ارقام با نیاز آبی کمتر و مقاوم به تنش‌های خشکی و در نهایت افزایش

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود شهرستان سمیرم با این که نسبت به آران و بیدگل تخلیه منابع فسیلی کمتری دارد؛ ولی در مجموع به علت تخلیه منابع آب بیشتر، شاخص تخلیه منابع بیشتری را احراز کرده است. نتایج بررسی شاه‌محمدی و همکاران (۱۳۹۵) درباره آثار زیست‌محیطی تولید محصول سیب زمینی نشان داد که در تولید سیب زمینی انتشارات مستقیم از مزرعه، استفاده از کودهای شیمیایی و الکتریسیته بیشترین سهم را در تخریب محیط‌زیست داشتند. در این رابطه مقدار شاخص‌ها برای طبقات اثر تخلیه منابع غیرزنده، گرمایش جهانی، اسیدیته، مردابی شدن و کاهش لایه اوزون به ترتیب برابر ۱/۱۱، ۱۵۲/۸۹، ۱/۹، ۰/۸۷ و ۰/۰۰۰۵ به دست آمد. در تحقیقی نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که شاخص‌های طبقه‌بندی گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی، اسیدیته، اوتريفيکاسيون خشکي و تخليه منابع فسيلي برای تولید یک تن پیاز به ترتیب ۲۱/۷ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل، ۰/۴۹ کیلوگرم دی‌اکسید گوگرد معادل، ۱/۲۷ کیلوگرم اکسیدهای نیتروژن معادل و ۷۷/۶۱ مگاژول به دست آمد (فروغ پناه و همکاران، ۱۳۹۴).

ایران. دانشگاه آزاد اسلامی ورامین. ۱۲ اسفند ۱۳۸۱. ص ۲.

۸. شاه‌محمدی ع. ویسی ه. خوشبخت ک. مهدوی دامغانی ع. و سلطانی ا. ۱۳۹۵. ارزیابی چرخه حیات تولید سیب‌زمینی به روش نیمه مکانیزه در ایران: مطالعه موردی، استان مرکزی. مهندسی بیوسیستم ایران. ۴۷(۴): ۶۵۹-۶۶۶.

۹. فروغ‌پناه ع. ا. خجسته‌پور م. عمادی ب. و آق‌خانی م. ح. ۱۳۹۴. بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید پیاز در منطقه بجنورد استان خراسان شمالی با استفاده از ارزیابی چرخه حیات. دومین همایش ملی فناوری‌های نوین در کشاورزی و منابع طبیعی. رشت. ۲۳ مهرماه ۱۳۹۴. ص ۱۵.

۱۰. کوچکی ع. ۱۳۷۳. کشاورزی و انرژی (نگرشی اکولوژیک). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد. ۲۴۰ ص.

۱۱. الماسی م. کیانی ش. و لوبیمی ن. ۱۳۷۸. مبانی مکانیزاسیون کشاورزی. چاپ چهارم. انتشارات جنگل، تهران. ۲۹۳ ص.

۱۲. محمدی س. میسمی م. ع. و عجب شیرچی ی. ۱۳۹۵. الگوی مصرف انرژی در تولید گندم آبی در ایران. نشریه مکانیزاسیون کشاورزی. ۳(۲): ۳۳-۴۱.

۱۳. ملاتی ک. و افضل‌نیا ص. ۱۳۹۱. تعیین شاخص‌های انرژی در تولید گندم و کلزا در کشت و صنعت دشت نمدان اقلید. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴(۱): ۳۶-۲۶.

۱۴. میرحاجی ح. خجسته‌پور م. و عباسپور فرد م. ح. ۱۳۹۲. بررسی تأثیرات زیست‌محیطی تولید گندم آبی منطقه مرودشت در ایران. ۶۶(۲): ۲۳۲-۲۲۳.

۱۵. میسمی م. ع. عجب شیرچی ی. و رنجبر ا. ۱۳۸۷. الگوی مصرف انرژی در تولید برخی محصولات کشاورزی و برآورد شاخص‌های انرژی (مطالعه موردی در سطح شهرستان بناب). پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشگاه فردوسی مشهد. ۷ شهریور ۱۳۸۷. ص ۱۱.

۱۶. یارمحمدی م. ۱۳۸۴. روش‌شناسی نمونه‌گیری و کاربردهای آن. ترجمه. انتشارات مرکز آمار ایران.

بازدهی و بهره‌وری مصرف آب گام‌های مهمی در جهت افزایش عملکرد گندم یا جایگزینی آن با محصولاتی با بهره‌وری انرژی بیشتر خواهد بود. طبق نتایج شاخص بوم‌شناخت و شاخص تخلیه منابع ناشی از مصرف آب در تولید گندم استان به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۷ برآورد شد. این دو شاخص برای مقایسه سایر محصولات مهم و قابل استناد است.

منابع

۱. بی‌نام. ۱۳۹۶. گزارش تحلیلی شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت. شرکت ملی نفت ایران. ۳۹۴ ص.
۲. بی‌نام. ۱۳۹۸. آمارنامه کشاورزی. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی. جلد ۱: محصولات زراعی. ۹۵ ص.
۳. خرم دل س. و زیرک کاخکی س. ۱۳۹۱. ارزیابی چرخه حیات راه کاری برای مطالعه اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های کشاورزی به منظور دستیابی به توسعه پایدار. اولین کنفرانس ملی راه‌کارهای دستیابی به توسعه پایدار در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست. تهران. ۲۰ اسفند ۱۳۹۱. ص ۵.
۴. ذوقی‌پور آ. و ترکمانی ج. ۱۳۸۶. تحلیل الگوی داده- ستاده انرژی در بخش کشاورزی ایران. ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران، انجمن اقتصاد کشاورزی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد. ۸ آبان ۱۳۸۶. ۲۰ ص.
۵. رضادوست س. ۱۳۸۷. سیر انرژی در کشاورزی پایدار. دومین همایش ملی انرژی. تهران. ۱ اردیبهشت ۱۳۸۷. ۱۳ ص.
۶. زوله م. ۱۳۹۰. بررسی و تعیین انرژی آبیاری مورد نیاز برای تولید گندم در شهرستان ساوجبلاغ. همایش ملی دستاوردهای نوین در زراعت. شهرقدس- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس. ۲۵ آبان ۱۳۹۰. ص ۵.
۷. زینلزاده تبریزی ح. سقفی س. فاتح ر. و صدیق‌نیا م. ۱۳۸۱. کارآیی مصرف انرژی در کشاورزی. اولین همایش راهکارهای کشاورزی پایدار در

- Studies for Agriculture. Panjab Agricultural University. 4: 271-278.
29. Safa M. and Tabatabaeefar A. 2002. Energy consumption in wheat production in irrigated and dryland farming. In: Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, 28-30 Nov., Wuxi, China. 183 p.
 30. Sidhu H. S. Singh S. Singh T. and Ahuja S. S. 2004. Optimization of energy usage in different crop production system, Agricultural Engineering Division. 85(1): 1-4.
 31. Snyder C. S. Bruulsema T. W. Jensen T. L. and Fixen P. E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agriculture, Ecosystems and Environment. 133(3-4): 247-266.
 32. Tsatsarelis C. A. 1993. Energy inputs and outputs for soft winter wheat production in Greece. Agriculture, Ecosystems and Environment. 43: 109-118.
 33. Tzilivakis J. Warner D. J. May M. Lewis K. A. Jaggard K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. Agricultural Systems. 85 (2): 101-119.
 34. Wang M. Xia X. Zhang Q. and Liu J. 2010. Life cycle assessment of a rice production system in Taihu region, China. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 17, 157-161. <https://doi.org/10.1080/1350450100359422>.
- تهران. ۴۳۶ ص.
17. Ansari R. Usman Liaqat M. Ihsan Khan H. and Mushtaq S. 2018. Energy efficiency analysis of wheat crop under different climate- and soil-based irrigation schedules. Proceedings. 2(84).
 18. Beheshti Tabar I. Keyhani A. and Rafiee S. 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990-2006). Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14: 849-855.
 19. Brentrup F. Kusters J. Kuhlmann H. and Lammel J. 2004. Environmental impacts assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology, I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. European Journal of Agronomy. 20: 247-264.
 20. Brentrup F. Küsters J. Lammel J. and Kuhlmann H. 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. The international journal of life cycle assessment. 5(6): 349-357.
 21. Buratti C. Barbanera M. and Fantozzi F. 2009. Environmental impact assessment of fiber sorghum (Sudan-Grass) production systems for biomass energy production in a central region of Italy. Biomass Research Centre, University of Perugia Via M. Iorio, 8 - 06128 Perugia, Italy.
 22. Burhan O. Akcaoz H. and Cemal F. 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. Renewable Energy. 29: 39-51.
 23. Erdal G. Esengun K. Erdal H. and Gunduz O. 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Energy. 32:35-41.
 24. Food and Agriculture Organization. 2002. Irrigation Manual Module 11. Financial and Economic Appraisal of Irrigation Projects.
 25. Iriarte A. Rieradevall J. and Gabarrell X. 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. Journal of Cleaner Production. 18(4): 336-345.
 26. Karimi M. Rajabi Pour A. Tabatabaeefar A. and Borghei A. 2008. Energy analysis of sugarcane production in plant farms a case study in Debel Khazai agro-industry in Iran. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 4(2): 165-171.
 27. Kazemi H. and Zare 2014. Investigation and comparison of energy flow in wheat fields of Gorgan and Marvdasht townships. Cereal Research. 4(3): 211-227.
 28. Pathak B. S. and Bining A. S. 2003. Energy use pattern and potential for energy saving in rice-wheat Cultivation School of Energy