

تحلیل انرژی مصرفی و اثرهای زیست محیطی تولید برنج در استان گیلان با استفاده از ارزیابی چرخه زندگی

زهرا یوسفی^{۱*}، عادل واحدی^۲ و فاطمه عسکری بزایه^۲

۱- به ترتیب: استادیار گروه تحقیقاتی فنی و مهندسی کشاورزی؛ و محقق بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

۲- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲۹

چکیده

در این پژوهش، وضعیت مصرف انرژی و میزان انتشار آلاینده‌های زیست محیطی، با استفاده از ارزیابی چرخه زندگی برنج در استان گیلان بررسی گردید. عوامل بالقوه تاثیرگذار شامل پتانسیل گرمایش جهانی، پتانسیل اسیدیته، اوتریفیکاسیون خشکی، تخلیه منابع فسیلی، تخلیه منابع فسفات، تخلیه منابع پتاسیم و تخلیه منابع آبی ارزیابی شدند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کل انرژی مورد نیاز برای تولید شلتوک برنج برابر با ۸۸۰۶۴ مگاژول در هکتار است. نهاده سوخت دیزل به همراه ماشین‌های کشاورزی، در مجموع با ۶۵/۵۲ درصد بیشترین مقدار انرژی ورودی را به خود اختصاص دادند. میزان انرژی خروجی مزارع شلتوک برنج نیز ۵۸۱۷۳ مگاژول در هکتار به دست آمد. نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی در تولید شلتوک برنج، ۰/۶۶ و ۰/۰۴ محاسبه شد. بر اساس نتایج ارزیابی چرخه زندگی، انتشار دی‌اکسید کربن، با مقدار ۷۴۰/۳۸ کیلوگرم به ازای یک تن شلتوک، بیشتر از سایر آلاینده‌ها است. مقدار گرمایش جهانی ناشی از تولید یک تن شلتوک برنج، $CO_2 eq$ ۱۱۱۶/۶ کیلوگرم است. تخلیه منابع فسیلی به دلیل استفاده از سوخت دیزل، ۷۵۸۷ MJ مگاژول و تخلیه منابع آب نیز ۳۳۵۴ متر مکعب و تخلیه منابع فسفات و پتاسیم هم به ترتیب $P_2O_5 eq$ ۲/۱۵ کیلوگرم و $K_2O eq$ ۰/۶۲ کیلوگرم به ازای تولید یک تن شلتوک محاسبه شده است. همچنین شاخص زیست محیطی و شاخص تخلیه منابع برای تولید یک تن شلتوک به ترتیب ۰/۵۷۸۹ و ۱/۷۰۵۷ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی

بهره‌وری انرژی، پتانسیل گرمایش جهانی، تخلیه منابع

مقدمه

سیستم‌های تولیدات کشاورزی، موجب افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شود که یکی از منابع آلودگی زیست محیطی به شمار می‌آید (Taleghani *et al.*, 2020). از طرف دیگر، عمده تولیدات کشاورزی، بر پایه استفاده از منابع محدودی مثل سوخت‌های

افزایش تقاضا برای غذا، با رشد جمعیت جهان رخدادهای طبیعی است. تولید بیشتر محصولات کشاورزی برای تأمین غذای مورد نیاز مستلزم تأمین انرژی بیشتر است. مصرف انرژی زیادتر در

محیط‌زیستی را نیز تضمین کنند (Shiri *et al.*, 2018). بررسی جریان انرژی ورودی‌ها و خروجی‌ها و مطالعه اثرهای زیست‌محیطی سامانه‌های تولیدی محصول، سبب دستیابی به اهداف توسعه پایدار می‌شود.

برنج از مهم‌ترین غلات و منابع غذایی جهان است که بشر از گذشته‌های دور به کشت آن می‌پرداخته است. نیمی از جمعیت جهان به برنج به عنوان غذای اصلی وابسته هستند. پس از گندم، برنج دومین غله مهم در دنیا به حساب می‌آید (Ghanbarian *et al.*, 2017). در سال ۲۰۱۸، در جهان ۷۸۲ میلیون تن شلتوک تولید شد که سه کشور چین، هند و اندونزی به ترتیب رتبه‌های اول، دوم و سوم را در تولید شلتوک داشته‌اند (Anon, 2020a). ایران در سال زراعی ۹۶-۹۷ بیش از ۳ میلیون تن شلتوک تولید کرده است که استان گیلان به عنوان یکی از مراکز اصلی کشت برنج کشور در همین سال با تولید بیش از یک میلیون تن، ۳۳ درصد تولید کشور را دارا بود (Anon, 2020b).

در خصوص میزان مصرف انرژی و اثرهای زیست‌محیطی تولید برنج، تحقیقات زیادی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. در بررسی‌های ترابی‌جفرودی و همکاران (Torabijafroodi *et al.*, 2015)، کود نیتروژن بیشترین درصد مصرف انرژی را در بین عوامل مختلف مؤثر در رشد برنج داشته است. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2015)، ثابت کردند که آسیب زیست‌محیطی به ازای هر تن تولید شلتوک در نظام کشت بهاره، کمتر است تا در نظام کشت تابستانه. در تحقیق نبوی پله‌سرای و همکاران (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2014)، در مزارع تولید برنج، مقدار انتشار گازهای

فسیلی، منابع آبی و دیگر نهاده‌های تجدیدنپذیر است. نیاز به افزایش مصرف انرژی، آلودگی زیست‌محیطی و محدودیت منابع انرژی از عواملی هستند که باعث بالا رفتن درجه اهمیت مدیریت مصرف انرژی در برنامه‌ریزی کلان و خرد در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه شده است (Mohseni *et al.*, 2019). الماسی و همکاران (Almassi *et al.*, 2014) بازده انرژی را معیار پیشرفت فناوری می‌دانند و شاخص‌های بازده یا نسبت انرژی، افزوده خالص انرژی و بهره‌دهی انرژی را در ارزیابی و آنالیز مصرف انرژی در بخش کشاورزی مهم اعلام کرده‌اند. استفاده درست از انرژی در سیستم‌های کشاورزی، ضمن کاهش اثرهای زیست‌محیطی، موجب کاهش هزینه‌های تولید غذا خواهد شد. بهبود راندمان مصرف انرژی، با هدف کاهش زوال محیط زیست و تولید پایدار کشاورزی بسیار مهم است (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2014).

در سال‌های اخیر، دانشمندان در سراسر دنیا به پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی تحت تأثیر انتشار گازهای گلخانه‌ای توجه ویژه‌ای داشته‌اند. استفاده از تکنولوژی در کشاورزی با هدف افزایش تولید محصول و غذا، موجب بالا رفتن انتشار گازهای گلخانه‌ای، به خصوص متان و اکسید نیتروژن می‌شود که تأثیر معنی‌داری بر آلودگی زیست‌محیطی دارد (Taleghani *et al.*, 2020). در کشورهای در حال توسعه، افزایش تولید با هدف تأمین امنیت غذایی، به دلیل راندمان پایین مصرف انرژی، اثرهای منفی زیادتری بر محیط زیست دارد. اما با هدف توسعه پایدار، اکوسیستم‌های زراعی باید بتوانند علاوه بر پایداری و ثبات تولید در درازمدت، حفاظت از منابع پایه و کاهش آلودگی‌های

آوردن تعداد نمونه از جامعه برنج‌کاران، از رابطه کوکران استفاده شد (Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2010). در این تحقیق، ۱۰۰ مزرعه برنج ارزیابی شد که پرسشنامه هر یک حضوری و بر اساس اطلاعات یک سال زراعی تکمیل شد. کشاورزان با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی سیستماتیک (منظم) انتخاب شدند.

ارزیابی جریان انرژی و اثرهای زیست‌محیطی

در این مطالعه، برای ارزیابی جریان انرژی، از انرژی معادل هر یک از نهاده‌ها و ستانده‌ها استفاده شد. انرژی معادل نیز از هم‌ارز انرژی متناظر آنها به دست آمد. هم‌ارز انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید شلتوک برنج در جدول ۱ آمده است. هم‌ارزهای انرژی جدول مذکور بر اساس تحقیقات صورت گرفته در کشورهای دیگر است. از آنجایی که هم‌ارز انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در داخل کشور هنوز محاسبه نشده است، از داده‌های مربوط به سایر کشورها استفاده شد هرچند هم‌ارزهای انرژی در داخل کشور، با توجه به یکسان نبودن شرایط، ممکن است با هم‌ارزهای انرژی سایر کشورها متفاوت باشد و لازم است مطالعات در این زمینه پیگیری شود تا نتایج واقعی‌تری به دست آید و تحلیل‌های درستی منتشر شود.

برای بررسی جریان انرژی، سه شاخص نسبت انرژی، افزوده خالص انرژی و بهره‌دهی انرژی، به شرح روابط ۱، ۲ و ۳، محاسبه شد.

$$(1) \quad \text{نسبت انرژی} = \frac{\text{انرژی ستانده}}{\text{انرژی نهاده}}$$

$$(2) \quad \text{انرژی نهاده} - \text{انرژی ستانده} = \text{افزوده خالص انرژی}$$

$$(3) \quad \text{بهره‌دهی انرژی} = \frac{\text{مقدار وزنی محصول شده}}{\text{انرژی نهاده}}$$

گلخانه‌ای در حالت واقعی و بهبود یافته به ترتیب ۱۴۸۳/۵۲ و ۱۸۴۷/۲۶ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل در هکتار گزارش شده است. کل میزان پتانسیل گرمایش جهانی از تولید برنج در مناطق مختلف هاریانای هند، ۴۰۵۴-۲۷۶۶ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل در هکتار است که بستگی به ذخیره کربن آلی خاک، مصرف کود و عملیات زراعی و غیرزراعی دارد (Pathak & Wassmann, 2007) وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2010) نشان دادند که در تولید یک تن برنج در تایپو چین شاخص اوتریفیکاسیون دارای پتانسیل بیشتری برای آسیب رساندن به محیط زیست است و بعد از آن به ترتیب تخلیه منابع آب، اسیدیته، گرمایش جهانی و تخلیه منابع انرژی قرار دارند.

با توجه به اهمیت محصول برنج به عنوان غذای اصلی مردم کشور و همچنین افزایش اثرهای زیست‌محیطی فعالیت‌های مختلف کشاورزی، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی روند مصرف انرژی و بررسی اثرهای زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهاده‌ها و همچنین مشخص کردن نهاده‌های مصرفی اجرا شد که دارای اثرهای زیست‌محیطی بیشتری هستند. اندازه‌گیری مقدار آلاینده‌ها در گروه‌های تأثیر زیست‌محیطی و معرفی راه‌حل‌های درست برای کاهش بار زیست‌محیطی در تولید برنج و افزایش کارایی مصرف انرژی، از اهداف دیگر این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و جامعه آماری

استان گیلان دارای ۲۲۰ هزار هکتار سطح زیر کشت برنج است که به تنهایی ۳۳ درصد شلتوک کشور را تولید می‌کند (Anon, 2020). برای به دست

جدول ۱- هم‌ارز انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید شلتوک برنج

Table 1- Energy equivalent of inputs and outputs in rice paddy production

مرجع References	واحد انرژی Unit (MJ. Unit ⁻¹)	هم‌ارز انرژی Energy equivalent	انرژی نهاده یا ستانده Input or output energy
Singh <i>et al.</i> , 2004 via Taleghani <i>et al.</i> , 2020	MJ/h	1.96	نیروی انسان Human labor
Singh <i>et al.</i> , 2004 via Taleghani <i>et al.</i> , 2020	MJ/L	56.3	سوخت دیزل Fuel Diesel
Taleghani <i>et al.</i> , 2020 via Kitani, 1999	MJ/kg	62.7	ماشین‌ها Machinery
Singh <i>et al.</i> , 2004	MJ/kg	64.80	موتور الکتریکی Electromotor
Taleghani <i>et al.</i> , 2020	MJ/m ³	1.02	آب آبیاری Irrigation Water
Yilmaz <i>et al.</i> , 2005	MJ/kg	76.14	نیترژن (N) Nitrogen
Yilmaz <i>et al.</i> , 2005 via Taleghani <i>et al.</i> , 2020	MJ/kg	12.4	فسفر (P2O5) Phosphorus
Yilmaz <i>et al.</i> , 2005 via Taleghani <i>et al.</i> , 2020	MJ/kg	11.15	پتاسیم (K2O) Potassium
Ozkan <i>et al.</i> , 2004 via Taleghani <i>et al.</i> , 2020	MJ/kg	0.3	کود دامی Farmyard Manure
Mandal <i>et al.</i> , 2002 via Singh <i>et al.</i> , 2002	MJ/kg	120	سموم شیمیایی Chemicals
Ozkan <i>et al.</i> , 2004 via Sayin <i>et al.</i> , 2005	MJ/kg	14.7	بذر برنج Rice Seed
Burhan <i>et al.</i> , 2004	MJ/kWh	11.93	الکتریسیته Electricity
Ozkan <i>et al.</i> , 2004	MJ/kg	14.7	شلتوک برنج Rice Paddy

کارکردی ورودی‌ها و خروجی‌ها را به هم مرتبط

می‌کند و مرجعی برای مقایسه فراهم می‌آورد (Wang *et al.*, 2007; Khoshnevisan *et al.*, 2013). در این تحقیق، اثرهای زیست‌محیطی کاه برنج محاسبه نشده است.

سامانه مورد مطالعه در این پژوهش، مرز مزرعه نمونه تولید برنج است و نهاده‌های ورود پیدا کرده به این محدوده و تولید شده در این محدوده ارزیابی و محاسبه شده‌اند. در سامانه تولید برنج، مصرف شش نهاده سوخت دیزل، الکتریسیته، کودهای شیمیایی

ارزیابی چرخه زندگی روشی است برای تعیین اثرهای زیست‌محیطی تولید محصول یا فرآیند. در ابتدای این روش، میزان نهاده‌های مصرفی در چرخه تولید محصول در سامانه مورد نظر تعیین و با توجه به مقدار آنها میزان انتشار آلاینده‌ها نیز تعیین می‌شود. سرانجام شاخص کمی برای ارزیابی اثرهای زیست‌محیطی برای سامانه محاسبه و تجزیه و تحلیل می‌شود (Anon, 2006). واحد کارکردی معادل با یک تن محصول شلتوک (دانۀ برنج به همراه پوست قهوه‌ای آن) در نظر گرفته شد. واحد

نیتروژن مصرفی در قالب کود اوره به صورت $\text{NH}_3\text{-N}$ تصعید می‌شود (Goebes *et al.*, 2003; Brentrup *et al.*, 2000). مطابق گزارش مجمع بین‌المللی تغییرات آب و هوایی^۱ در سال ۲۰۰۶، یک درصد از کل نیتروژن مصرف شده به فرم $\text{N}_2\text{O-N}$ انتشار می‌یابد (Snyder *et al.*, 2009). میزان انتشار NO_x به اتمسفر، برابر ۱۰ درصد N_2O در نظر گرفته می‌شود (Gasol *et al.*, 2007).

بر اساس ISO گروه‌هایی که تحت تأثیر آلاینده‌های انتشار یافته قرار می‌گیرند، شامل گرمایش جهانی، اسیدیته، اوتریفیکاسیون خشکی، تخلیه منابع فسیلی، تخلیه منابع فسفات، تخلیه منابع پتاسیم و تخلیه منابع آب هستند برای هر یک از گروه‌های اثرهای محیطی، یک ضریب یکسان‌سازی تعریف می‌شود (Brentrup *et al.*, 2004a, b; Finkbeiner *et al.*, 2006).

طبقه‌بندی گروه‌های تأثیر مورد مطالعه در سامانه تولید برنج بر اساس نوع آلاینده و ضرایب یکسان‌سازی در جدول ۳ ارائه شده است. شاخص هر گروه تأثیر طبق رابطه ۴ مشخص شد.

$$I_i = \sum (R_j, E_j) \times CF_{ij} \quad (4)$$

که در آن،

R_j و E_j = به ترتیب میزان مصرف منبع و میزان انتشار آلاینده به ازای واحد کارکردی؛ CF_{ij} = ضرایب کارایی هر ترکیب در هر گروه تأثیر؛ و I_i = شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر نام.

یادآوری می‌شود کارایی هر ترکیب یا فاکتور طبقه‌بندی در هر گروه تأثیر، نشان‌دهنده پتانسیل آن ترکیب در ایجاد اثر مربوط است (Mirhaji *et al.*, 2013).

نیتروژن، فسفات و پتاسیم و آب به عنوان نهاده‌های دارای اثر منفی روی محیط زیست و خطرناک بودن در تولید آینده در نظر گرفته شدند. میزان مصرف این شش نهاده و مقادیر آلاینده‌های انتشار یافته به محیط‌زیست، به واسطه استفاده از آنها، بر مبنای واحد کارکردی محاسبه شد. پس از آن اثرهای زیست‌محیطی استفاده از این نهاده‌ها، بر اساس استانداردهای بین‌المللی برآورد شد (Finkbeiner *et al.*, 2006).

برآورد مقادیر آلاینده‌های انتشار یافته

میزان انتشار آلاینده‌ها به هر یک از سه عنصر خاک، آب و هوا متفاوت است. اندازه‌گیری دقیق این انتشارات با در نظر گرفتن مسائل مالی، زمانی و همچنین اختلاف در نتایج عملی نخواهد بود. از این‌رو به جای اندازه‌گیری‌ها از روش‌های مشخص برای تخمین میانگین انتشار استفاده شد (Brentrup *et al.*, 2000). با این کار، مقایسه اثرهای زیست‌محیطی تولید محصولات مختلف در نقاط تولیدی متفاوت قابل حصول خواهد بود. مهم‌ترین آلاینده‌های انتشار یافته از مصرف سوخت دیزل، گازهای گلخانه‌ای CO_2 ، N_2O و CH_4 هستند. علاوه بر آلاینده‌های یاد شده، SO_2 و NO_x نیز از مصرف سوخت دیزل در مزرعه تولید می‌شود. ضرایب انتشار انواع آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت دیزل، الکتریسیته و کود نیتروژن در جدول ۲ ارائه شده است. البته آلاینده‌گی ناشی از فعالیت‌های باکتری‌های متان‌ساز در حالت غرقابی نیز ایجاد می‌شود که در این تحقیق، بررسی نشده است. بر اساس داده‌های این جدول، آلاینده‌های انتشار از مصرف الکتریسیته، NO_x ، CO_2 ، NH_3 و SO_2 است. مهم‌ترین آلاینده‌های انتشار یافته از نیتروژن با منبع کود اوره، شامل NH_3 ، CO_2 ، N_2O و NO_x است. طبق تحقیقات صورت گرفته، ۱۷ درصد از کل

جدول ۲- ضرایب انتشار انواع آلاینده‌ها ناشی از مصرف نهاده‌ها

Table 2- Emission coefficients of pollutants originated from consumption of inputs

منابع References	آلاینده‌های انتشار یافته (Kg Unit ⁻¹)						نهادها Inputs
	Emissioned pollutant						
	SO ₂	NH ₃	CO ₂	NO _x	N ₂ O	CH ₄	
Tzilivakis <i>et al.</i> , 2005	0.004	-	2.63	0.0222	181×10 ⁻⁷	173×10 ⁻⁶	سوخت دیزل (L) Diesel
Goebes <i>et al.</i> , 2003 via Brentrup <i>et al.</i> , 2000 via Gasol <i>et al.</i> , 2007	-	0.025	-	0.003098	0.03098	-	کود اوره (Kg) Urea
Ecoivent. 2010	276×10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	0.580	121×10 ⁻⁵	-	-	الکتریسیته (kWh) Electricity

نتایج و بحث

تحلیل روند مصرف انرژی

میزان انرژی مصرف شده برای تولید برنج در مزارع بررسی شده ۸۸۰۶۴/۰۶ مگاژول بر هکتار بود. این مقدار انرژی در مطالعه نبوی پله‌سرای و همکاران (Nabavi-Pelesaraei, *et al.* 2014) و پیمان و همکاران (Payman, *et al.*, 2005)، به ترتیب ۵۱۴۳۰ و ۷۲۴۸۸/۷ مگاژول بر هکتار اعلام شد. سوخت دیزل با ۴۴/۷۸ درصد بیشترین سهم را در مصرف انرژی داشت. بعد از سوخت دیزل، بیشترین مقدار انرژی صرف شده مربوط به ماشین‌های کشاورزی (۲۰/۷۴ درصد) بود (جدول ۵). شکل ۱، درصد انرژی نهاده‌های مختلف در تولید برنج در استان گیلان را نشان می‌دهد. بررسی‌های در خصوص کشت برنج، سهم انرژی در بین سهم انرژی سایر نهاده‌های مورد نیاز برای کشت برنج در رتبه‌های اول تا سوم قرار دارد که با نتایج این مطالعه در تطابق است (Mohammadi *et al.*, 2008; Attar *et al.*, 2010; Pourshirazi *et al.*, 2013; Ansari *et al.*, 2015; Torabijafroodi *et al.*,

شاخص نهایی در ارزیابی چرخه زندگی، برای برتری یک محصول نسبت به محصولات دیگر محاسبه می‌شود. شاخص‌های نهایی در قالب دو گروه شاخص زیست‌محیطی و شاخص تخلیه منابع در نظر گرفته می‌شوند. شاخص زیست‌محیطی، برابر با مجموع شاخص‌های نهایی سه گروه تأثیر گرمایش جهانی، اسیدیته و اوتریفیکاسون خشکی در نظر گرفته شد. شاخص زیست‌محیطی تحت عنوان شاخص بوم‌شناخت^۱، معیار نهایی ارزیابی چرخه زندگی است (Brentrup *et al.*, 2004a). کوچک بودن این شاخص زیست‌محیطی برای سامانه تولیدی هر محصول نشان‌دهنده پتانسیل کمتر آسیب به محیط زیست در این سامانه است. شاخص تخلیه منابع برابر با مجموع شاخص‌های نهایی چهار گروه تأثیر تخلیه منابع فسیلی، فسفات، پتاسیم و آب است. به طور کلی، مشکلات مربوط به تخلیه منابع با مشکلات سایر گروه‌های تأثیر متفاوت است، سایر گروه‌های تأثیر، به صورت مستقیم روی سلامت طبیعت و انسان اثر می‌گذارند، در حالی که گروه‌های تأثیر تخلیه منابع، برای تولید آینده خطرناک هستند.

حفاظتی حاکی از آن است که به کارگیری خاک‌ورزی حفاظتی در کشت برنج، موجب کاهش هزینه‌های متغیر تولید می‌شود در حالی که عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری با روش استفاده از خاک‌ورزی مرسوم ندارد (Almassi, 2007). بعد از سوخت، انرژی استفاده از ماشین‌آلات بیشترین مقدار انرژی ورودی را در بین سایر نهاده‌ها دارد. با در پیش گرفتن خاک‌ورزی حفاظتی، به دلیل کاهش دفعات استفاده از ماشین، از مصرف این انرژی نیز به طور چشم‌گیر کاسته خواهد شد.

خاک‌ورزی بخشی از عملیات زراعی برای آماده‌سازی خاک است و در بین عملیات مختلف، بیشترین مصرف سوخت را دارد (Rajabi *et al.*, 2012). در مزارع برنج استان گیلان، خاک‌ورزی به شیوه مرسوم پیش می‌رود. از آنجایی که با مدیریت صحیح خاک‌ورزی می‌توان تا ۵۰ درصد، مصرف سوخت را کاهش داد (Lithourgidis *et al.*, 2009; Jalali *et al.*, 2015)، به نظر می‌رسد با استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در کشت برنج بتوان از مصرف سوخت میزان قابل توجهی کاست. تحقیقات در مورد استفاده از روش‌های خاک‌ورزی

جدول ۳- طبقه‌بندی گروه‌های تأثیر مورد مطالعه بر اساس نوع آلاینده و ضرایب یکسان‌سازی

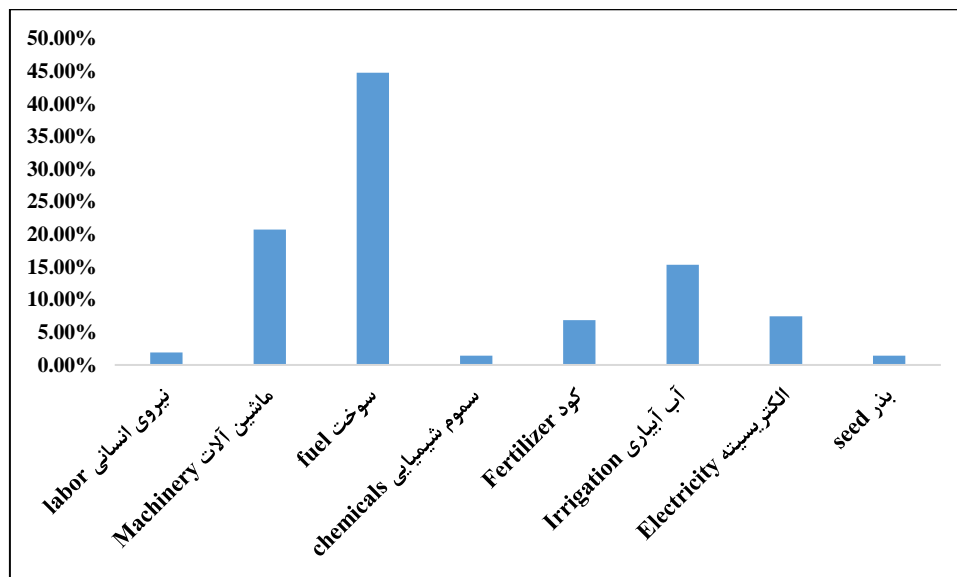
Table 3- The classification of the impact categories based on the type of pollutants and the coefficients of characterization factor

منبع References	ضرایب یکسان‌سازی Characterization factor	آلاینده‌ها/تخلیه منابع Pollutants/Depletion of resources	گروه تأثیر (واحد) Impact category (Unit)
Snyder <i>et al.</i> , 2009	CO ₂ =1, CH ₄ =21, N ₂ O=310	CH ₄ و CO ₂ , N ₂ O	گرمایش جهانی (kg CO ₂ eq) Global warming potential
Brentrup <i>et al.</i> , 2004a	SO ₂ =1.2, NO _x =0.5, NH ₃ =1.6	NH ₃ و SO ₂ , NO _x	اسیدیته (kg SO ₂ eq) Acidification potential
Khorramdel <i>et al.</i> , 2014	NH ₃ =4.4, NO _x =1.2	NH ₃ و NO _x	اوتروفیکاسیون خشکی (kg NO _x eq) Terrestrial eutrophication potential
Brentrup <i>et al.</i> , 2004a	42.86	مصرف گازوئیل	تخلیه منابع فسیلی (MJ) Depletion of fossil resources
Brentrup <i>et al.</i> , 2004a	0.25	مصرف فسفات	تخلیه منابع فسفات (kg P ₂ O ₅ eq) Depletion of phosphate resources
Brentrup <i>et al.</i> , 2004a	0.105	مصرف پتاسیم	تخلیه منابع پتاسیم (kg K ₂ O eq) Depletion of potassium resources
Buratti <i>et al.</i> , 2009	1	مصرف آب	تخلیه منابع آب (m ³) Depletion of water resources

جدول ۵- مقدار و انرژی نهاده‌های مصرفی و ستانده در تولید شلتوک برنج در استان گیلان

Table 5- Amount and energy equivalent of inputs and output for rice paddy production in Guilan province

درصد از کل انرژی نهاده Percentage of total energy input	انرژی معادل Energy equivalent (MJ ha ⁻¹)	مقدار Amount (unit ha ⁻¹)	واحد Unit	نهاده‌ها Inputs
1.92	1694.61	864.6	h	نیروی انسانی labor
20.74	18270.37	291.44	h	ماشین‌ها Machinery
44.78	39437.02	700.48	l	سوخت دیزل Diesel fuel
0.41	365.16	1.51	l	علف‌کش‌ها Herbicides
0.6	531.60	5.28	kg	حشره‌کش‌ها Insecticides
0.39	350.51	1.63	kg	قارچ‌کش‌ها Fungicides
5.38	4741.69	71.68	kg	نیتروژن Nitrogen(N)
0.48	424.04	34.09	kg	فسفر Phosphorus(P ₂ O ₅)
0.3	270.36	23.51	kg	پتاسیم Potassium(K ₂ O)
0.71	628.9	2096.33	kg	کود دامی Farmyard manure
15.37	13538.55	13272	m ³	آب آبیاری irrigation water
7.44	6558.23	1821.7	kwh	الکتریسیته Electricity
1.42	1253.02	85.24	kg	بذر Seed
	88064.06			کل انرژی ورودی Total energy input
				energy output
-	58173.63	39.5739	kg	شلتوک برنج Rice paddy



شکل ۱- درصد انرژی نهاده‌های مختلف در تولید برنج در استان گیلان
Fig. 1-The share of energy inputs for rice paddy production in Guilan province

انرژی تولید شده است. مقدار این شاخص برای محصول برنج در منطقه رامهرمز در مطالعه عطار و همکاران (Attar et al., 2010)، برای روش خشکه‌کاری و نشاکاری برنج به ترتیب ۱ و ۱/۲۵ و در منطقه انزلی در تحقیق بلوکی و همکاران (Boluki et al., 2010)، برای رقم بومی و رقم پرمحصول، به ترتیب، ۱/۶ و ۱/۸۱ گزارش شده است.

شاخص بهره‌وری انرژی که از تقسیم عملکرد وزنی محصول به انرژی نهاده‌ها به دست می‌آید، در این تحقیق برابر ۰/۰۴ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمده است. یعنی به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی، ۰/۰۴ کیلوگرم محصول حاصل شده است. هرچه این نسبت بالاتر باشد، نشانگر بهره‌وری بالاتر انرژی مصرفی است. شاخص شدت انرژی در این مطالعه، ۲۲/۲۵ مگاژول بر کیلوگرم به دست آمد که نشان می‌دهد، به ازای تولید هر کیلوگرم محصول شلتوک، ۲۲/۲۵ مگاژول انرژی صرف شده است. شاخص افزوده خالص انرژی در این بررسی، ۳۱۲۸۳/۴۳ مگاژول در هکتار و منفی بود که حاکی از آن است، انرژی خروجی کمتر از انرژی ورودی است و کشت برنج با شرایط کنونی (مصرف زیاد سوخت و به کارگیری زیاد ماشین‌آلات)، توجیه‌پذیر نیست (جدول ۶).

بر اساس داده‌های جدول ۵، متوسط انرژی خروجی ۵۸۱۷۳/۶۳ مگاژول به ازای هر هکتار است که ۸۶ و ۱۴ درصد آن به ترتیب مربوط است به دانه و به پوست قهوه‌ای آن. در تحقیق بلوکی و همکاران (Boluki et al., 2010)، انرژی خروجی رقم بومی و پرمحصول برنج در منطقه انزلی به ترتیب ۴۰۲۳۰ و ۴۷۰۸۱/۶ مگاژول در هکتار به دست آمد در حالی که در مطالعه ترابی‌جفرودی و همکاران (Trabijafroodi et al., 2015)، انرژی خروجی ارقام بومی و اصلاح شده برنج در استان گیلان به ترتیب ۶۱۰۰۵ و ۸۳۷۹۰ مگاژول به ازای هر هکتار اعلام شده است. اختلاف قابل تأمل بین انرژی‌های خروجی در بررسی‌های مختلف نشان‌دهنده تفاوت در محاسبه ضرایب هم‌ارز انرژی و اعلام عملکرد واقعی محصول برنج است.

جدول ۶ شاخص‌های انرژی در تولید برنج در استان گیلان را نشان می‌دهد. با استفاده از شاخص‌های انرژی، این امکان وجود دارد که بتوان سیستم‌های تولید محصولات مختلف در یک منطقه یا یک محصول در نقاط مختلف را با هم مقایسه کرد. نسبت انرژی یا کارایی انرژی برای تولید محصول برنج، ۰/۶۶ به دست آمده که نشان می‌دهد به ازای مصرف یک واحد انرژی در حدود ۰/۶۶ واحد

جدول ۶- شاخص‌های انرژی در تولید برنج در استان گیلان

Table 7- Energy indices for rice paddy production in Guilan province

مقدار Amount	واحد Unit	شاخص‌ها Indices	
0.66	-	Energy efficiency	نسبت انرژی
-29890.43	MJ/ha	Net energy	افزوده خالص انرژی
0.04	Kg/MJ	Energy productivity	بهره‌دهی انرژی

با هدف ارزیابی زیست‌محیطی تولید آن در استان گیلان و بر اساس واحد کارکردی یک تن شلتوک

تحلیل ارزیابی چرخه زندگی در کشت برنج چرخه زندگی برنج، در مرز سامانه تعریف شده،

بررسی است. جدول ۷، میزان انتشار انواع آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت گازوییل، کود نیتروژنی و الکتریسیته را نشان می‌دهد. انتشار دی‌اکسید کربن، با مقدار ۷۴۰/۳۸ کیلوگرم به ازای یک تن شلتوک بیشتر از سایر آلاینده‌هاست. ۶۲ درصد مقدار انتشار دی‌اکسید کربن مربوط به مصرف گازوییل است. انتشار گاز NO_x به ازای تولید یک تن شلتوک ۴/۶۰ کیلوگرم برآورد شده است در حالی که مقدار انتشار این گاز به ازای تولید یک تن ذرت در شرایط آب و هوایی مغان ۰/۸ کیلوگرم

بررسی است. جدول ۷، میزان انتشار انواع آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت، الکتریسیته و کود نیتروژنی (کیلوگرم به ازای یک تن شلتوک) یک تن گندم در شرایط آب و هوایی آلمان است (Brentrup *et al.*, 2004a). دلیل این تفاوت، مصرف سوخت بالا در تولید برنج در استان گیلان است. مقدار NH₃ منتشر شده به ازای یک تن شلتوک، ۰/۹۷ کیلوگرم، به میزان قابل توجهی کمتر از مقدار انتشار آن به ازای تولید ۱ تن ذرت (۵/۱۱ کیلوگرم) گزارش شده است (Shiri *et al.*, 2018). انتشار این گاز به مقدار زیادی وابسته به استفاده از کودهای نیتروژنی است.

جدول ۷- میزان انتشار انواع آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت، الکتریسیته و کود نیتروژنی (کیلوگرم به ازای یک تن شلتوک)

Table 8- Pollutant emissions originated from fuel, nitrogen (N) and electricity consumption (kg per ton of rice paddy)

CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO ₂	NH ₃	SO ₂	
0.0306	0.0032	3.9299	465.5704	-	0.7080	گازوئیل diesel fuel
-	1.12084	0.12083	7.80085	0.9751	-	نیتروژن Nitrogen
-	-	0.557053	267.0169	0.0046	1.2706	الکتریسیته Electricity

انصاری و همکاران (Ansari *et al.*, 2015) نیز مصرف سوخت مهم‌ترین عامل انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی در دو الگوی کشت برنج در شهرستان ساری معرفی شده است. در تحقیقی، سوخت یکی از نهاده‌های اصلی تشدیدکننده پتانسیل گرمایش جهانی در کشت برنج گزارش شده است (Rassam *et al.*, 2015). در حالی که در مطالعه‌ای دیگر گزارش شده که مصرف الکتریسیته بیشترین تأثیر را در انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی در شالیزارهای استان مازندران دارد و مصرف کود نیتروژنی و سوخت در رتبه‌های بعدی قرار دارند (Dastan *et al.*, 2014). در مورد گروه تأثیر اسیدیته، مقدار آلاینده‌ها SO₂ eq ۶/۲۴ کیلوگرم محاسبه گردید

در این تحقیق، مقدار پتانسیل گرمایش جهانی در ازای تولید یک تن شلتوک ۱۱۱۶/۶۱ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل در نظر گرفته شده است (جدول ۸). پتانسیل گرمایش جهانی در تحقیق انصاری و همکاران (Ansari *et al.*, 2015) برابر ۴۹۸ و در بررسی طاهری‌راد و همکاران (Taheryrad *et al.*, 2014) برابر ۶۷۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل، در ازای تولید یک تن شلتوک اعلام شد. پایین بودن عملکرد مزارع برنج در استان گیلان به علت بالا بودن مقدار پتانسیل گرمایش جهانی در ازای تولید یک تن شلتوک است. آلاینده دی‌اکسید کربن، بیشترین سهم را در افزایش پتانسیل گرمایش جهانی دارد. بر اساس جدول ۸، عامل اصلی انتشار این آلاینده مصرف سوخت است. در بررسی‌های

تولید ذرت در منطقه مغان (Shiri *et al.*, 2018) و بادام زمینی در استان گیلان (Nikkhah *et al.*, 2015)، به ترتیب، ۲۲/۵۸ kg NO_x eq و ۱۶/۲۲ گزارش شده است. دی نیتروژن مونواکسید (N₂O) و NO_x دو آلاینده منتشر شده از کود نیتروژن هستند و فرمولشان درست است.

(جدول ۸). مقدار این شاخص برای تولید بادام زمینی در استان گیلان (Nikkhah *et al.*, 2015)، ذرت در منطقه مغان (Shiri *et al.*, 2018) و گندم در مرودشت (Mirhaji *et al.*, 2013)، به ترتیب kg eq SO₂ ۶/۲۵، ۸/۳۷ و ۵/۶ گفته شده است. اوتریفیکاسیون، به ازای یک تن شلتوک، kg NO_x eq ۹/۸۴ برآورد شد (جدول ۸). مقدار این شاخص برای

جدول ۸- گروه‌های تأثیر و مقدار معادل شده آلاینده‌های مؤثر در ایجاد آنها به ازای هر تن شلتوک

Table 9- Impact category and Equivalent amount of effective pollutants per ton of rice paddy

CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO ₂	NH ₃	SO ₂	گروه تأثیر Impact category
0.6431	375.5827	-	740.3882	-	-	پتانسیل گرمایش جهانی Global warming potential (kg CO ₂ eq)
-	-	2.3038	-	1.5675	2.3744	پتانسیل اسیدیته Acidification potential (kg SO ₂ eq)
-	-	5.5293	-	4.3107	-	پتانسیل اوتریفیکاسیون خشکی Terrestrial eutrophication potential (kg NO _x eq)

زیست‌محیطی را به محیط زیست وارد می‌کند. در مطالعات نامداری و همکاران (Namdari *et al.*, 2016)، در مورد تولید محصول چغندر قند در استان همدان و تحقیقات میرحاجی و همکاران (Mirhaji *et al.*, 2012)، در مورد تولید محصول چغندر قند در استان خراسان رضوی، تخلیه منابع آبی، دارای بیشترین شاخص نهایی در بین سایر گروه‌های تأثیر گفته شده است. در مطالعه وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2010) بیشترین اثر زیست‌محیطی تولید برنج در چین، تخلیه منابع آبی اعلام شده است. شاخص زیست‌محیطی کشت برنج در استان گیلان، ۰/۵۷۸۹ و شاخص تخلیه منابع نیز ۱/۷۰۵۷ گزارش شده است. بنابراین، آسیب کشت برنج در استان گیلان، در آینده، بسیار بیشتر خواهد بود.

جدول ۹، میزان تخلیه منابع به ازای تولید یک تن شلتوک را نشان می‌دهد. تخلیه منابع فسیلی، به دلیل استفاده از گازوییل، ۷۵۸۷/۲۱ مگاژول و تخلیه منابع آب نیز ۳۳۵۴/۰۶ متر مکعب است. تخلیه منابع فسفر و پتاسیم هم به ترتیب، kg P₂O₅ eq ۲/۱۵ و ۰/۶۲ kg K₂O eq محاسبه شده است. در بررسی اثرهای زیست‌محیطی تولید بادام زمینی در استان گیلان (Nikkhah *et al.*, 2015) و تولید ذرت در منطقه مغان (Shiri *et al.*, 2018) نیز تخلیه منابع فسفر بیشترین تأثیر منفی را داشته است.

مقادیر شاخص‌های نرمال و نهایی گروه‌های تأثیر پتانسیل گرمایش جهانی، پتانسیل اسیدیته، اوتریفیکاسیون خشکی، تخلیه منابع فسیلی، تخلیه منابع فسفات، تخلیه منابع پتاسیم و تخلیه منابع آب در جدول ۱۰ آمده است. تخلیه منابع آب دارای بیشترین شاخص نهایی است. بنابراین، در کشت برنج در استان گیلان، مصرف آب بیشترین آسیب

شکل ۲ شاخص نهایی اثرهای زیست‌محیطی و شکل ۳، شاخص نهایی اثرهای تخلیه منابع را نشان

می‌دهد. شاخص زیست‌محیطی و تخلیه منابع تولید ذرت در منطقه مغان (Shiri *et al.*, 2018)، به ترتیب ۰/۹۸ و ۳/۶ و مقدار این شاخص‌ها برای تولید بادام زمینی در استان گیلان (Nikkhah *et al.*, 2015) به ترتیب ۰/۶۳ و ۴/۳ گزارش شده است. با توجه به اینکه مصرف سوخت و انتشار گاز دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی در دو بررسی ذکر شده به ازای واحد عملکردی مشابه، کمتر از مقداری است که در تحقیق حاضر گفته شده، به نظر می‌رسد مصرف سایر نهاده‌ها مانند کود نیتروژنی، تأثیر بیشتری در مقدار شاخص زیست محیطی و شاخص تخلیه منابع داشته باشد.

جدول ۹- میزان تخلیه منابع به ازای تولید یک تن شلتوک

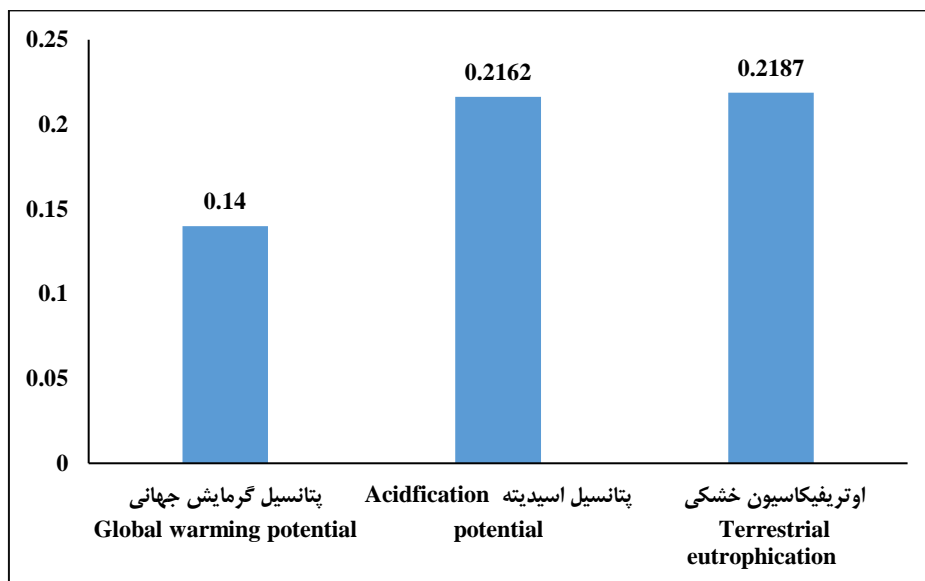
Table 10- Depletion of resources per ton of rice paddy production

مقدار Amount	منبع Resource	گروه تأثیر Impact category
7587.21	گازوئیل Gasoline	تخلیه منابع فسیلی Depletion of fuel oil resources (MJ)
2.15	فسفات Phosphate	تخلیه منابع فسفر Depletion of phosphorus resources (kg P2O5 eq)
0.62	پتاسیم Potassium	تخلیه منابع پتاسیم (kg K2O eq) Depletion of potassium resources
3354.06	آب Water	تخلیه منابع آب (m ³) Depletion of water resources

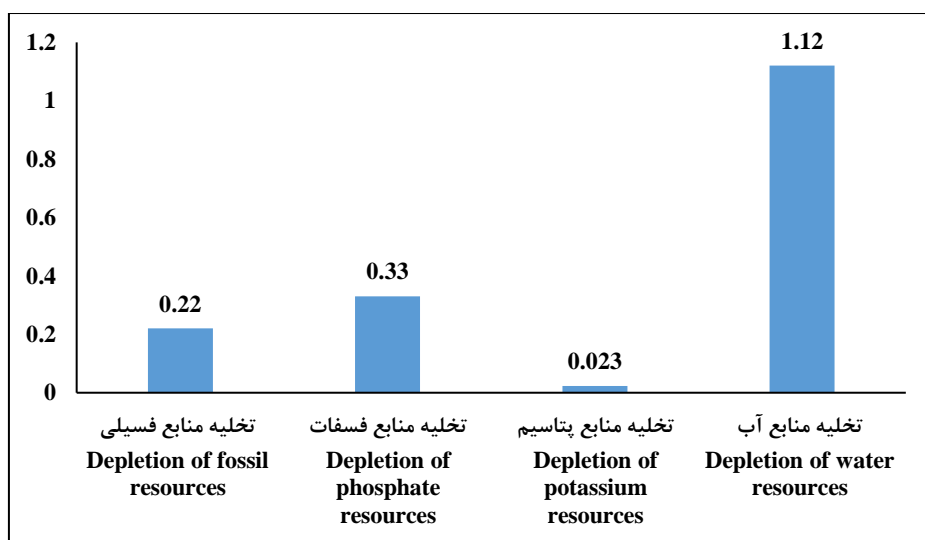
جدول ۱۰- شاخص‌های گروه تأثیر، نرمال و نهایی

Table 11- Final, normal and impact category indices

شاخص نهایی Final index	شاخص نرمال Normal index	شاخص گروه تأثیر Impact category index	گروه تأثیر Impact category
0.1440	0.1371	561.15	پتانسیل گرمایش جهانی Global warming potential (kg CO ₂ eq)
0.2162	0.1201	2.57	پتانسیل اسیدیته Acidification potential (kg SO ₂ eq)
0.2187	0.1562	6.04	پتانسیل اوتروفیکاسیون خشکی Terrestrial eutrophication potential (kg NO _x eq)
0.2208	0.1937	7587.21	تخلیه منابع فسیلی (MJ) Depletion of fossil resources
0.3374	0.2812	2.15	تخلیه منابع فسفر (kg P2O5 eq) Depletion of phosphorus resources
0.0230	0.0766	0.62	تخلیه منابع پتاسیم (kg K2O eq) Depletion of potassium resources
1.1245	5.3548	3354.06	تخلیه منابع آب (m ³) Depletion of water resources



شکل ۲- شاخص نهایی اثرهای زیست محیطی در تولید یک تن شلتوک
Fig. 2- Final environmental impacts index per ton of rice paddy production



شکل ۳- شاخص نهایی اثرهای تخلیه منابع در تولید یک تن شلتوک
Fig. 3- Final index of resources depletion impacts per ton of rice paddy production

نتیجه گیری

شدت انرژی و افزوده خالص انرژی به ترتیب ۰/۶۴، ۰/۰۴ کیلوگرم بر مگاژول، ۲۲/۲۵ مگاژول بر کیلوگرم و ۳۱۲۸۳/۴۳ مگاژول به دست آمد. ارزیابی چرخه زندگی یک روش سازماندهی اطلاعات و محاسبه اثرهای زیست محیطی به صورت کمی است. بر اساس این روش، مشخص شد که در کشت برنج در استان گیلان گاز دی اکسید کربن به

برای تولید هر تن شلتوک در استان گیلان، ۸۸۰۶۴/۰۶ مگاژول انرژی مصرف می شود. یک تن شلتوک معادل ۵۶۷۸۰/۶۳ مگاژول انرژی است. مصرف زیاد سوخت دیزل و استفاده نامناسب از ماشین آلات، موجب افزایش انرژی ورودی برای تولید شلتوک شده است. نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی،

ازای هر تن شلتوک ۷۴۰/۳۸ کیلوگرم منتشر می‌شود که بیش از هر آلاینده دیگری است. ۶۲ درصد از مقدار دی‌اکسید کربن بر اثر مصرف سوخت گازوییل است. دی‌اکسید کربن عامل اصلی پتانسیل گرمایش جهانی است. مقدار پتانسیل گرمایش جهانی به ازای تولید یک تن شلتوک، ۱۱۱۶/۶۱ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل است. تخلیه منابع فسیلی، به دلیل استفاده از گازوییل، ۷۵۸۷/۲۱ مگاژول و تخلیه منابع آب نیز ۳۳۵۴/۰۶ متر مکعب محاسبه شده است. در کشت برنج در استان گیلان، بیشترین آسیب زیست‌محیطی را مصرف آب به محیط زیست وارد می‌کند. شاخص زیست‌محیطی ۰/۵۷۸۹ و شاخص تخلیه منابع نیز ۱/۷۰۵۷ است.

بنابراین لازم است بررسی‌هایی برای ارائه مدل‌های بهینه‌سازی تولید برنج با نگرش استفاده حداقل آب در دستور کار محققان قرار گیرد.

در مزارع برنج استان گیلان، کاهش مصرف سوخت و استفاده از ماشین‌آلات، موجب کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن و آلودگی زیست‌محیطی خواهد شد. استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در مرحله آماده‌سازی زمین و کاربرد انرژی‌های نو و تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی در عملیات مختلف زراعی برای تولید برنج، رسیدن به این هدف را آسان می‌سازد. بی‌شک در آینده نزدیک انرژی‌های نو جایگزین انرژی‌های فسیلی در بخش کشاورزی خواهند شد.

مراجع

- Almassi, M., Kiani, Sh., & Lovimi, N. (2014). *Fundamentals of agricultural mechanization*. Fifth Edition. Moaser Andishe Goftehan Pub. Tehran, Iran. (in Persian)
- Anon (2006). Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework. ISO 14040: 2006 (E).
- Anon. (2020a). Food and Agricultural Organization (FAO). <http://www.fao.org>.
- Anon. (2020b). Statistics Report of 2017-2018 Years. Statistics and Information Office of Ministry of Jihad-e-Agriculture, Iran. (in Persian)
- Ansari, M. J., Khoramdel, S., Ghorbani, R., & Pirdashti, H. (2015). Evaluation of global warming potential for rice in the first and second cropping patterns (Case study: Sari Province). *Research in Field Crops*, 3(1): 14-26. (in Persian)
- Attar, S., Sheikh Davoodi, M. J., & Almassi, M. (2010). *Energy analysis two different rice production system in Khuzestan province east (A case study in Ramhormoz restrict)*. *Proceedings of the 6th National Conference of Mechanic and Mechanization of Agricultural Machinery*. University of Tehran Sep. 15-16. Karaj, Iran. (in Persian)
- Boluki, M. S., Keyhani, A., & Rafiee, Sh. (2010). *Energy consumption and economic analysis of rice paddy production; A case study of port Anzali*. *Proceedings of the 6th National Conference of Mechanic and Mechanization of Agricultural Machinery*, University of Tehran. Sep. 15-16. Karaj, Iran. (in Persian)
- Brentrup, F., Kusters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (2004a). 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.

- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., & 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.
- Buratti, C., Barbanera, M., & Fantozzi, F. (2009). Environmental impact assessment of fiber sorghum (sudan-grass) production systems for biomass energy production in a central region of Italy. Available online at: <https://www.researchgate.net>.
- Dastan, S., Soltani, A., Noor Mohammadi, G. H., & Madani, H. (2014). Global warming potential of carbon dioxide emissions and energy consumption in the paddy planting. *Journal of Agricultural Ecology*, 6(4), 823-835. (in Persian)
- Dehghan, E., & Almassi, M. (2007). Effect of tillage methods on yield and yield components of two rice cultivars (*Oriza Sativa* L.) in drybed seeding at Shawoor, Khuzestan. *Journal of Agricultural Engineering Research* 7(29), 89-100. (in Persian)
- Ecoivent. (2010). Implementation of life cycle impact assessment methods. Data v2.2. www.ecoinvent.org.
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R. B. H., Christiansen, K., & Klüppel, H. J. (2006). The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(2), 80-85.
- Gasol, C. M., Gabarrell, X., Anton, A., Rigola, M., Carrasco, J., Ciria, P., & Rieradevall, J. (2007). Life cycle assessment of a Brassica carinata bioenergy cropping system in southern Europe. *Biomass and Bioenergy*, 31(8), 543-555.
- Ghanbarian, D., Valaei, M., Ghasemi Varnamkhasti, M., & Aghagoolzade, H. R. (2017). Discussion of Influence of parboiling in milling rice yield and head rice yield. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 48(2), 299-304.
- Ghasemi-Mobtaker, H. G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S., & Akram, A. (2010). Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan province of Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 137(3-4), 367-372.
- Goebes, M. D., Strader, R., & Davidson, C. (2003). An ammonia emission inventory for fertilizer application in the United States. *Atmospheric Environment*, 37(18), 2539-2550.
- Jalali, A., Mahmoudi, A., Valizadeh, M., & Skandari, I. (2015). The effect of conservation tillage forward speed and depth on farm fuel consumption. *Journal of agricultural machinery* 5(2): 325-335. (in Persian)
- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., & Amin Ghafori, A. (2014). Evaluation of environmental impacts for wheat Agroecosystems of Iran by using Life Cycle Assessment methodology. *Cereal Research*, 4(1), 27-44. (in Persian)
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., & Mousazadeh, H. (2013). Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. *European Journal of Agronomy*, 50, 29-37.
- Kitani, O. 1999. CIGR handbook of agricultural engineering, Vol. 5. Energy and Biomass Engineering. ASAE Publication, St Joseph, MI.
- Lithourgidis, A. S., Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2009). Conservation tillage: A promising perspective for sustainable agriculture in Greece. *Journal of Sustainable Agriculture*, 33(1), 85-95.
- Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M., & Bandyopadhyay, K. K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean based crop production systems in central India. *Biomass Bioenergy*, 23(5), 337-345.

- Mirhaji, H., Khojastehpour, M., & Abaspour-Fard, M. H. (2013). Environmental effects of wheat production in the Marvdasht region. *Journal of Natural Environment*, 66, 223-232. (in Persian)
- Mirhaji, H., Khojastehpour, M., Abaspour-Fard, M. H., & Mahdavi-Shahri, S. M. (2012). Environmental impact study of sugar beet production using life cycle assessment in Khorasan province. *Agroecology*, 4, 112-120. (in Persian)
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Dalgaard, T., Trydeman Knudsen, M., Nguyen, T., Borek, R., & Hermansen, J. E. (2015). Joint life cycle assessment and data envelopment analysis for the benchmarking of environmental impacts in rice paddy production. *Journal of Cleaner Production*, 106, 521-532.
- Mohammadi, A., Tabatabaefar, A., Shahin, Sh., Rafiee, Sh., & Keyhani, A. (2008). Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy Conversion and Management*, 49, 3566-3570.
- Mohseni, P., Borgheei, A. M., & Khanali, M. (2019). Energy consumption analysis and environmental impact assessment of grape production in hazavah region of Arak city. *Journal of Agricultural Machinery*, 9(1), 177-193. (in Persian)
- Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, Sh., & Taromi, K. (2014). Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce greenhouse gas emission of rice production. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 7, 155-162.
- Namdari, M., Rafiee, Sh., & Hosseinpour, S. (2016). Decreasing the destructive environmental effects by improving efficiency of sugar beet production using data envelopment analysis approach. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 47(2), 353-361. (in Persian)
- Nikkhah, A., Khojastehpour, M., Emadi, B., Taheri-Rad, A., & Khorramdel, S. (2015). Environmental impacts of peanut production system using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*, 92, 84-90.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C. (2004). Energy input output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energ.*, 29(1), 39-51.
- Pathak, H., & Wassmann, R. (2007). Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. *Agricultural Systems*, 94, 807-825.
- Payman, M. H., Rouhi, R., & Alizadeh, M. R. (2005). Determination of energy consumption in traditional and semi-mechanized methods for rice production. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(22), 67-80.
- Pourshirazi, Sh., Rassam, Gh., & Rajabi, M. H. (2013). *Evaluation of the environmental impact and energy consumption in rice production systems. Proceedings of the First Conference and Exhibition on Environmental Energy & Clean Industry*. Dec. 1-2. Tehran, Iran. (in Persian)
- Rajabi, M. H., Soltani, A., Zeinali, E., & Soltani, E. (2012). Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production*, 19(3), 143-171. (in Persian)
- Rassam, Gh., Poorshirazi, Sh., Dadkhah, A., & Torabi, B. (2015). Documentation of rice production process in semi-traditional and semi-mechanized systems in dargaz, Iran. *Agriculture Science Developments*, 4(4), 58-62.
- Sayin, C., Mencet, M. N., & Ozkan, B. (2005). Assessing of energy policies based on Turkish agriculture: Current status and some implications. *Energy Policy*, 33, 2361-73.

- Shiri, M., Ataei, R., & Golzardi, F. (2018). Life cycle assessment (LCA) for a maize production system under Moghan climatic conditions. *Environmental Sciences*, 16(1), 191-206.
- Singh, G., Singh S., & Singh, J. (2004). Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. *Energy Conversion and Management*, 45, 453-465.
- Singh, H., Mishra, D., & Nahar, N. M. (2002). Energy use pattern in production agriculture of a typical village in Arid Zone India Part I. *Energy Conversion and Management*, 43(16), 2275-2286.
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & 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.
- Taheryrad, A., Khojastehpor, M., Rohani, A., & Khorramdel, S. (2014). *Resources depletion evaluation for rice production system by life cycle assessment (LCA) (Case study: Golestan province)*. The First National Conference of Environmental Health, Health and Environment. Sep. 11. Hamedan, Iran. (in Persian)
- Taleghani, A., Almassi, M., & Ghahderijani, M. (2020). Environmental evaluation and optimization of energy use and greenhouse gases mitigation for farm production systems in Mashhad, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09778-x>.
- Torabijafroodi, A., Adibi S., & Hasanzadeh, A. (2015). Energy balance and economical analysis of local and improved rice (*Oryza Satival.*) cultivars in Guilan province. *Applied Field Crops Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 28(106). 21-28. (in Persian)
- 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.
- Wang, M., Wu, W., Liu, W., & Bao, Y. (2007). Life cycle assessment of the winter wheat-summer maize production system on the North China Plain. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14, 400-407.
- Wang, M., Xia, X., Zhang, Q., & 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.
- Yilmaz, I., Akcaoz, H., & Ozkan, B. (2005). An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy*, 30, 145-155.
- Ying, C., Tessier, S., & Irvine, B. (2004). Drill and crop performances as affected by different drill configurations for no-till seeding. *Soil and Tillage*, 77, 147-155.

Research Paper

Energy Consumption Analysis and Environmental Impact Evaluation of Rice Production by Life Cycle Assessment (LCA) in Guilan Province

Z. Yousefi*, A. Vahedi and F. Askari-Bozayeh

*Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Group Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rasht, Iran. Email: zahra.yousefi@gmail.com

Received: 23 June 2020, Accepted: 19 September 2020

[http://doi: 10.22092/erams.2020.343427.1359](http://doi:10.22092/erams.2020.343427.1359)

Abstract

In this research, the status of energy consumption and the rate of emission of pollutants were evaluated using the life cycle assessment of rice produced in Guilan province, Iran. Potential influencing factors included global warming potential, acidification potential, terrestrial eutrophication, depletion of oil resources, depletion of phosphate resources, depletion of potassium resources and depletion of water resources were evaluated. The results of this study showed that the total energy required to produce one ton of rice paddy was 88064 MJ per ha. While the energy output of rice paddy was 58173 MJ per ha. Diesel fuel and agricultural machinery inputs with a total of 65.52% accounted for the largest amount of input energy. The energy efficiency and energy productivity in rice paddy production were calculated as 0.66 and 0.04, respectively. According to the results of the life cycle assessment, carbon dioxide emission (740.38 kg per ton of paddy) was higher than other pollutants produced by applying other inputs. It has been reported that one ton of rice paddy, globally, is responsible for producing 1116.61 kg of carbon dioxide as pollutant. The depletion of oil resources due to the use of diesel fuel was 7587 MJ and the depletion of water resources was 3354 m³. Depletion of phosphate and potassium resources were calculated as 2.15 kg P₂O₅ eq and 0.62 kg K₂O eq, respectively. Also, the ecosystem index and the resource depletion index per 1 ton of rice paddy were 0.5789 and 1.7057, respectively.

Keywords: Energy Productivity, Global Warming Potential, Resources Depletion



© 2021 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)