نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۵۵-۱۳۵

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.1, Spring 2021, p. 135-155

مقاله علمی - پژوهشی

مقایسه ردپای بوم‌شناختی، ردپای آب و اثرات محیط‌زیستی نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی و دیم بر اساس اندازه مزرعه (مطالعه موردی: منطقه بوشهر)

مرتضی سیاوشی[1*] و سلمان دستان[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۳

سیاوشی، م.، و دستان، س.، ۱۴۰۰. مقایسه ردپای بوم‌شناختی، ردپای آب و اثرات محیط‌زیستی نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) و دیم بر اساس اندازه مزرعه (مطالعه موردی: منطقه بوشهر). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۱): ۱۵۵-۱۳۵.

چکیده

ارزیابی چرخه حیات (LCA) یک روش مناسب برای مطالعه و بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید یک محصول در چرخه زندگی آن گیاه در سامانه‌های تولید است. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی چرخه حیات تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) و دیم بر اساس اندازه زمین در منطقه بوشهر در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. برای انجام پژوهش، ابتدا ۲۰۰ مزرعه زیر کشت گندم شناسایی شدند که ۱۰۰ مزرعه متعلق به کشت دیم در منطقه گناوه و ۱۰۰ مزرعه متعلق به کشت آبی در منطقه دشتی پایش شدند. انتخاب تعداد مزرعه در هر روش بر اساس فرمول کوکران انجام شد. پس از ثبت داده‌ها، مزارع بر اساس اندازه در هر روش به پنج گروه به‌ترتیب خیلی کوچک (کمتر از دو هکتار)، کوچک (دو الی پنج هکتار)، متوسط (پنج الی ۱۰ هکتار)، بزرگ (۱۰ الی ۱۵ هکتار) و خیلی بزرگ (بالای ۱۵ هکتار) گروه‌بندی شدند. واحد کارکردی بر مبنای تولید یک تن عملکرد دانه در نظر گرفته شد. مهم‌ترین شاخص‌های رده‌اثر مورد ارزیابی شامل گرمایش جهانی طی دوره ۵۰۰ ساله، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان، بدبو شدن هوا، تخلیه لایه ازون دوره ۴۰ ساله، ردپای بوم‌شناختی و ردپای آب بودند. یافته‌های پژوهش نشان داد تمامی شاخص‌های رده‌اثر متعلق به مدل‌های تقاضای انرژی تجمعی، تقاضای اکسرژی تجمعی، پروتکل گازهای گلخانه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی طی دوره ۱۰۰ ساله، ردپای بوم‌شناختی و ردپای آب در کشت دیم به‌میزان قابل توجهی بالاتر از کشت آبی بود. علاوه‌براین، شاخص‌های رده‌اثر متعلق به مدل CML-IA non-baseline مثل گرمایش جهانی طی دوره ۵۰۰ ساله، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان، بدبو شدن هوا، تخلیه لایه ازون دوره ۴۰ ساله، مسمومیت انسان در دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت زیستی گونه‌های آبزی و دریایی طی دوره ۱۰۰ ساله در کشت دیم به‌طور قابل توجه و بسیار بالایی بیشتر از کشت آبی بود. همچنین، شاخص‌های رده‌اثر فلزات سنگین منتشر شده در هوا (سرب، کادمیم، روی و جیوه)، فلزات سنگین انتشار یافته در آب (کروم، روی، مس، کادمیم، جیوه، سرب و نیکل)، انتشار نیترات، فلزات و آفت‌کش‌ها به خاک، انتشار NOx، SOx، آمونیاک، گرد و غبار، COD، فسفر و پتاسیم نیز در روش کشت دیم بسیار بالاتر از کشت آبی بود. در روش کاشت آبی، با افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ انتشار تمامی آلاینده‌های مورد بررسی روند کاهشی را نشان دادند، ولی در کشت دیم متغیر بود که بیشترین مقدار متعلق به مزارع خیلی کوچک بود. متغیر بودن مقدار این شاخص‌ها بر اساس اندازه مزرعه در کشت دیم می‌تواند به‌دلیل تغییرات کمتر مقدار خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها در مزارع خیلی کوچک تا خیلی بزرگ باشد. لذا، این نتایج نشان می‌دهد که سهم آلاینده‌ها در کشت آبی در مقایسه با کشت دیم در منطقه بوشهر کمتر است. بنابراین، می‌توان با کشت آبی گندم و استفاده از کود سبز، خاک‌ورزی حفاظتی، راه‌اندازی سامانه‌های آبیاری نوین و استفاده بهینه از منابع آب به افزایش بهره‌وری آب و کاهش اثرات محیط‌زیستی منجر شد.

واژه‌های کلیدی: انتشار فلزات سنگین، پتانسیل گرمایش جهانی، تقاضای اکسرژی تجمعی، یوتریفیکاسیون

مقدمه

ارزیابی اثرات محیط‌زیستی منجر به استفاده بهینه از نهاده‌ها، کاهش فشرده‌سازی و همچنین پایداری بوم‌نظام‌های زراعی خواهد شد. ارزیابی چرخه حیات نیز روشی مناسب برای بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید یک محصول در کل چرخه حیات است (Iriarte et al., 2010). یکی از ویژگی‌های بارز روش ارزیابی چرخه حیات این است که تمامی شاخص‌های رده‌اثر مورد مطالعه به یک واحد خاص از محصول مورد مطالعه مرتبط شده و در نهایت، برای محصول یک شاخص زیست‌محیطی به‌دست می‌آید (Roy et al., 2009). نگرانی‌های مربوط به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز به افزایش مطالعات مربوط به توازن انرژی در نظام‌های تولید گیاهان زراعی منجر شد (Koga, 2008). علاوه‌براین، استفاده مؤثر از انرژی در بخش کشاورزی نیز یکی از عوامل مهم در پیدایش کشاورزی پایدار است، زیرا موجب صرفه‌جویی اقتصادی، حفظ سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی هوا می‌گردد (Pervanchon et al., 2002). همچنین، برای تأمین نیازهای غذایی جمعیت رو به گسترش بشر، باید یک نظام پایدار با بهره‌وری بالا در اولویت قرار داده شود (Dastan, 2012). بنابراین، با تجزیه و تحلیل نظام‌های مختلف کشاورزی، می‌توان به‌میزان استفاده از منابع انرژی ورودی (تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) پی برد و از منابع محدود نظیر زمین، آب و منابع زیستی برای نسل‌های آینده حفاظت کرد (Dastan et al., 2015 a,b; 2016 b). لذا، یکی از رویکردهای مناسب در جهت کاهش انرژی‌های ورودی و از سوی دیگر، افزایش انرژی خروجی، بررسی و ارزیابی شاخص‌های به‌دست آمده از مطالعات منطقه‌ای است؛ اینکه چه عواملی چگونه و به چه میزان بیش‌ترین تأثیر را در مقدار این شاخص‌ها می‌گذارند (Dastan, 2012). در کنار بررسی امکان جایگزینی آن‌ها با سایر عوامل و با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی، در نهایت، می‌تواند به بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی منجر گردد (Dastan, 2012). از طرفی ارزیابی مصرف انرژی و محیط‌زیستی می‌تواند نشان‌دهنده چگونگی کاهش انرژی ورودی به نظام‌های تولید و افزایش کارایی انرژی باشد (Clements et al., 2005). تولید همه محصولات کشاورزی از جمله گندم (*Triticum aestivum* L.)، برای انجام عملیات زراعی مانند شخم، کاربرد کود، آفت‌کش‌ها، کاشت، آبیاری، برداشت، فرآوری و حمل‌ونقل نیاز به برخی از شکل‌های انرژی دارد (Chauhan et al., 2006). امروزه افزایش جمعیت بشر و فعالیت‌های ناشی از آن در زمینه‌های مختلف صنعتی، حمل‌ونقل، کشاورزی و غیره روز به روز باعث افزایش غلظت این گازها در اتمسفر به‌میزان بیش از حد طبیعی گردیده، که به بروز اثر گلخانه‌ای و تغییرات آب‌وهوایی مانند گرم شدن کره زمین و تخریب لایه ازن منجر شده است (Mitchell, 2003). در صورت ادامه روند تغییر اقلیم در آینده‌ای نه‌چندان دور، مردم جهان با تغییرات عمده‌ای در وضعیت کره زمین از جمله ذوب شدن یخ‌های قطبی، بالا آمدن سطح آب دریاها، تغییر در نوع نزولات جوی، طوفان‌های شدید، کاهش میزان تولید محصولات کشاورزی در اثر سرمازدگی، تگرگ، یخ‌زدگی، خشک‌سالی، سیل، فرسایش، آب‌گرفتگی اراضی کشاورزی، تغییر فصل بارش و همچنین نابودی تنوع زیستی گیاهی و جانوری مواجه خواهند بود. بنابراین، افزایش دمای کره زمین آثار و پیامدهای مختلف و در ابعاد گوناگون به‌همراه دارد (Mitchell, 2003)، که بخش کشاورزی یکی از منابع مهم در انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بوده و در عین‌حال، خود این بخش نیز به‌سبب تعاملات گسترده و مستقیم با محیط، بیش‌ترین تأثیر را از فرآیند تغییر اقلیم می‌پذیرد. مصرف بالای نهاده‌ها به‌ویژه کود و سموم شیمیایی نیز در نظام‌های تولید، باعث آلودگی آب و خاک شده و راه یافتن این مواد سمی به طبیعت، برهم خوردن تعادل بوم‌نظام‌ها را موجب شده است. از این‌رو، با توجه به اثرات سوء زیست‌محیطی شیوه‌های کاشت سنتی، موضوع پایداری تولید و رسیدن به امنیت غذایی، در هاله‌ای از ابهام قرار دارد. بنابراین، ارزیابی اثرات محیط زیستی به‌روش رهیافت LCA می‌تواند به شناسایی مشکلات نظام‌های تولید و پایداری بوم‌نظام‌های زراعی کمک نماید.

محققان تولید گندم نان را در نظام‌های ارگانیک و رایج در آمریکا از نظر پتانسیل گرمایش جهانی به‌وسیله LCA مقایسه کردند که نتایج آن‌ها نشان داد، تولید یک کیلوگرم نان در نظام ارگانیک نسبت به نظام رایج، ۳۰ کیلوگرم معادل CO_2 کمتر تولید کرد

۱- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
۲- پژوهشگر دوره پسادکتری، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج، ایران.
(*- نویسنده مسئول:
(Email: morteza_siavoshi@yahoo.com
Doi:10.22067/jag.v13i1.76210

(Meisterling et al., 2009). با بررسی اثرات محیط‌زیستی نظام‌های تولید گندم زمستانه در سطوح مختلف مصرف نیتروژن بر اساس LCA مشاهده شد، شاخص LCA با مصرف مقادیر کمتر از ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در حدود ۰/۲۲ تا ۰/۲۶ به‌ازای هر تن دانه گندم بود و با افزایش مقدار مصرف نیتروژن از ۲۰۰ تا ۳۹۰ کیلوگرم در هکتار شاخص LCA برابر ۳۳ تا ۱۰۰ درصد بیشتر از سطوح کمتر نیتروژن بود. نتایج این تحقیق در آلمان نشان داد که در سطوح پایین‌تر نیتروژن، کاربری اراضی و در سطوح بالای نیتروژن یوتریفیکاسیون عوامل کنترل‌کننده شاخص LCA بودند. در این تحقیق اسیدیته و گرمایش جهانی از اثرات عمده محیطی بوده‌اند (Brentrup et al., 2004 b). در ارزیابی چرخه زندگی سامانه تولید گندم زمستانه و ذرت در شمال چین کاهش منابع فسیلی، تغییرات آب‌وهوایی، اسیدیته، یوتریفیکاسیون، ایجاد سمیت برای انسان و بوم‌نظام آبی و خشکی بررسی شد (Wang et al., 2009). در سامانه تولید گندم زمستانه کاهش منابع فسیلی و اسیدیته و در ذرت کاهش منابع فسیلی و یوتریفیکاسیون بیشتر از سایر عوامل موجب آسیب محیط‌زیستی شد. به‌طور کلی، تولید گندم زمستانه نسبت به ذرت، به محیط زیست خسارت بیشتری وارد کرد که شاخص نهایی محیط‌زیستی گندم ۰/۰۶۳ و برای ذرت (*Zea mays* L.) ۰/۰۴۰ به‌دست آمد (Wang et al., 2009). در ایران نیز برخی محققان به ارزیابی چرخه حیات نظام‌های تولید گندم آبی در کل کشور (Khorramdel et al., 2014)، نظام‌های آبی و دیم جو (*Hordeum vulgar* L.) در کل کشور (Khorramdel et al., 2015)، برنج در کل کشور (Khorramdel et al., 2017)، زعفران (*Crocus sativus* L.) در خراسان (Mollafilabi et al., 2015)، چای (*Camellia sinensis* L.) در منطقه چابکسر گیلان (Nikkhah et al., 2017)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) (Esmailpour et al., 2015) و کود مصرفی اوره در کل کشور (Nikkhah et al., 2016) پرداختند. بنابراین، با توجه به اینکه تاکنون گزارشی در مورد ارزیابی تولیدگندم با روش LCA در منطقه بوشهر گزارش نشده، این مطالعه با هدف مقایسه جنبه‌های محیط‌زیستی تولید گندم در این منطقه انجام شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه

استان بوشهر در عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. این استان از دو بخش جلگه‌ای حاشیه ساحلی غربی و کوهستانی نوار شرقی منتهی‌الیه زاگرس جنوبی تشکیل شده است. قلمرو مکانی انجام پژوهش دو شهرستان دشتی و گناوه بود که در منطقه دشتی مزارع گندم آبی و در منطقه گناوه مزارع گندم دیم ارزیابی شدند. در منطقه بوشهر مشابه سایر مناطق ایران، گندم از نظر سطح زیر کشت و میزان تولید، مهم‌ترین محصول کشاورزی بوده و به‌عنوان منبع عمده تأمین کالری و پروتئین مورد نیاز جمعیت کشور است. به‌دلیل سازگاری بیشتر با شرایط اقلیمی و همچنین محدودیت‌های آب و بارندگی، کشت و تولید گندم در منطقه بوشهر بسیار حائز اهمیت است. هشدارهای اخیر در سطح جهانی و از جمله کشور ایران نیز در رابطه با مشکلات محیط‌زیستی و عدم پایداری تولید محصولات کشاورزی باعث شده است که کشت گندم در تناوب زراعی و الگوی کاشت در هر منطقه اهمیت بالایی داشته باشد.

مستندسازی فرآیند تولید

کشاورزی شامل تهیه کلیه اطلاعات و فعالیت‌هایی است که سیر تولید یک محصول از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت را نشان می‌دهد (Dastan et al., 2018). به این منظور، در این پژوهش تمامی عملیات‌های مدیریتی انجام شده از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت گندم در مزارع مورد مطالعه در منطقه بوشهر از طریق مطالعات میدانی برای سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ ثبت شد. در این بررسی‌ها، شیوه انجام هر عملیات مدیریتی در هر یک از مراحل تهیه بستر بذر، کاشت، داشت و برداشت ثبت شد (جدول ۱). تمامی اطلاعات مربوط به مدیریت زراعی شامل عملیات تهیه بستر بذر (نوع، تعداد و زمان شخم، دیسک و غیره)، رقم مورد استفاده و محل تهیه بذر آن، زمان کاشت، کود (نوع کود، میزان کود و زمان مصرف کود)، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، آبیاری (تعداد و زمان آبیاری) و مسائل مربوط به برداشت (زمان برداشت و میزان عملکرد) جمع‌آوری شد. این اطلاعات در قالب پرسش‌نامه و از طریق پایش ۱۰۰ مزرعه جمع‌آوری و تکمیل شد. در پایان فصل رشد میزان عملکرد واقعی برداشت شده توسط کشاورزان ثبت شد.

برای انجام پژوهش، ابتدا ۲۰۰ مزرعه زیر کشت گندم در استان بوشهر شناسایی شدند که ۱۰۰ مزرعه به کشت دیم و ۱۰۰ مزرعه به کشت آبی تعلق داشت. برای تعیین تعداد مزارع (نمونه) در هر منطقه از فرمول کوکران استفاده شد. پس از ثبت داده‌ها، مزارع در هر یک از روش‌های کشت آبی و دیم به پنج گروه بر اساس اندازه به‌ترتیب خیلی کوچک (کمتر از دو هکتار)، کوچک (دو الی پنج هکتار)، متوسط (پنج الی ۱۰ هکتار)، بزرگ (۱۰ الی ۱۵ هکتار) و خیلی بزرگ (بالای ۱۵ هکتار) تقسیم شدند که درصد سطح زیر کشت و مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- عوامل مدیریت زراعی (متغیر) ثبت شده در مزارع مورد بررسی گندم در منطقه بوشهر

Table 1- Agronomic management factors (variable) recorded in studied wheat fields in Boushehr region

نام و نوع متغیر	Name and type of variables
۱- متغیرهای مرتبط با مشخصات کشاورز: نام، سن، جنسیت، سابقه تولید و تحصیلات.	1- Variables related to farmers information: Name, gender, production history, and education level.
۲- متغیرهای مرتبط با اطلاعات کلی مزرعه: نام روستا، موقعیت جغرافیایی، مساحت مزرعه، محصول قبلی، نام بقوله قبلی، آخرین سال از بقوله قبلی، موقعیت مزرعه، جهت شیب مزرعه، مشکل زه‌کشی مزرعه، مشکل آب‌گرفتگی مزرعه، وضعیت تسطیح، تاریخ تسطیح و ...	2- Variables related to Fields information: Village name, geographical coordinates, field area, previous crops, previous legumes name, previous years of legume cultivation, field position, direction of the field gradient, drainage and flooding problems, field leveling situation, leveling date and so on.
۳- متغیرهای مرتبط با عملیات تهیه بستر بذر: نام و نوع ادوات و ماشین‌آلات، تاریخ و تعداد دفعات کاربرد ماشین‌آلات، شیوه خاک‌ورزی، وضعیت بستر در زمان کاشت، رطوبت بستر در زمان کاشت، مشکل سله و ...	3- Variables related to seedbed preparation: Name and type of machinery and implementation, date and no. of machinery utilization, tillage method, seedbed situation and humidity in the cultivation time, soil crusting problem and so on.
۴- متغیرهای مرتبط با تغذیه گیاه: نام کود، مصرف پایه و سرک، تاریخ مصرف، مرحله رشدی گیاه در زمان مصرف، مقدار مصرف، شیوه مصرف، تعداد دفعات سرک، نوع کود دامی، مقدار کود دامی و ...	4- Variables related to crop fertilization: Fertilizer name, basal and top-dressing usage, usage date, crop growth stages in the usage time, amount and method of fertilizer usage, no. of top-dressing, amount and type of farmyard manure, and so on.
۵- متغیرهای مرتبط با عملیات کاشت: میزان بذر، وضعیت ضدعفونی بذر، ماده ضدعفونی بذر، نام رقم، نوع رقم، منبع تهیه بذر، درجه رضایت از بذر، تراکم بوته، روش کاشت، تاریخ کاشت و ...	5- Variables related to cultivation: Seed rate, seed disinfection condition, seed disinfection material, cultivar name, cultivar type, seed providing resource, degree of seed satisfaction, planting density, planting method, planting date and so on.
۶- متغیرهای مرتبط با حفاظت گیاه: نام و نوع سموم مصرفی، تاریخ و مرحله رشدی گیاه در زمان مصرف هر سم، مقدار و واحد مصرف سموم، شیوه مصرف سموم، تعداد دفعات مصرف علف‌کش، حشره‌کش، قارچ‌کش و ...	6- Variables related to crop protection: Poison name and type, the type of toxin group, the date and crop growth stages in the poison usage time, the amount and unit of poison usage, the manner of taking pesticides, the frequency of herbicide, insecticide, fungicide usage and so on.
۷- متغیرهای مرتبط با وجین و سایر عملیات زراعی: نام عملیات زراعی، تاریخ انجام، وسیله مورد استفاده و ...	7- Variables related to weeding and other farming practices: Name of farming practice, date of practices, implement utilization for each operation and so on.
۸- متغیرهای مرتبط با برداشت: تراکم بوته در زمان برداشت، تاریخ برداشت، نام ادوات و ماشین‌آلات برداشت، میزان عملکرد بذر، متوسط عملکرد سال‌های قبل، شیوه مدیریت بقایای محصول، مشکل خوابیدگی بوته، مشکل آفات، مشکل بیماری‌ها، مشکل علف‌های هرز، مشکل برداشت، نوع کمباین برداشت، درصد تقریبی ریزش، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز مهم و خسارت‌زای سال جاری و سال‌های قبل و ...	8- Variables related to harvest: planting density in harvesting time, harvesting date, type and name of harvesting machinery, seed yield amount, average yield of previous years, management of crop residue, problems of lodging, pests, diseases, weeds, harvest, combine machine type, approximate percentage of seed falling, the most hazardous pests, diseases and weeds in the current year and previous years and so on.
۹- سایر متغیرهای مورد بررسی: مهم‌ترین مشکل و راه‌حل پیشنهادی از نگاه کشاورز در سال جاری و سال‌های قبل، تأثیر هر یک از عوامل زراعی و مدیریتی بر کاهش عملکرد از نگاه کشاورز و ...	9- Other investigated variables: The most important problem and proposed solution from the viewpoint of the farmer in this year and the previous years, the effect of each agronomic and management factors on yield reduction from the viewpoint of the farmer and so on.

تقسیم مزارع بر اساس اندازه، طبق پراکنش مساحت مزارع مورد بررسی و همچنین مزارع تولید گندم کشاورزان در منطقه بوشهر انجام شد تا جامعه آماری مناسبی از نظر اندازه مزارع انتخاب شود.

نحوه شناسایی مزارع به شکلی است که کلیه روش‌های عمده تولید را در منطقه مورد نظر پوشش دهد. سپس شرایط مزارع و اطلاعات تکمیلی مربوط به آن‌ها ارایه شد. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات از مزارع، ابتدا کلیه اعمال زراعی به هشت بخش تهیه زمین، کاشت، کوددهی، حفاظت گیاه، کنترل علف‌های هرز، آبیاری، برداشت و حمل‌ونقل به کارخانه تفکیک شد. سپس، با شروع هر عملیات، با توجه به نوسانات دمایی، تنوع روش‌های تولید و مقادیر مختلف کاربرد نهاده‌ها (ورودی‌ها) توسط کشاورزان منطقه و به‌منظور تهیه اطلاعات جامع‌تر، اطلاعات تیپیک عملیات زراعی از قبیل تاریخ شروع هر عملیات و میزان ورودی‌ها در هر مرحله از اجرا (کاشت تا برداشت) از مزارع جمع‌آوری و ثبت شد.

جدول ۲- تشریح مقادیر ورودی‌ها و خروجی در کشت آبی و دیم گندم بر اساس اندازه مزرعه در منطقه بوشهر

Table 2- Description of input and output amounts in irrigation and rainfed wheat production based on farm size in the Boushehr region

بخش Item	واحد Unit	کشت آبی (هکتار) Irrigated (ha)					کشت دیم (هکتار) Rainfed (ha)				
		<2	2-5	5-10	10-15	>15	<2	2-5	5-10	10-15	>15
اندازه مزرعه Farm size	%	16	43	21	13	7	12	38	27	14	9
ورودی‌ها Inputs											
بذر Seed	کیلوگرم در هکتار $kg.ha^{-1}$	240	225	215	205	190	135	130	118	110	104
سوخت Diesel	لیتر l	275	245	220	205	195	175	160	150	140	135
نیروی برق Electricity	کیلووات ساعت kWh	650	600	575	525	500	475	445	430	425	400
ادوات و ماشین‌آلات Machinery	کیلوگرم kg	65	58	52	49	44	48	42	40	36	35
نیتروژن Nitrogen	کیلوگرم در هکتار $kg.ha^{-1}$	220	200	180	165	160	180	165	150	150	145
فسفر Phorphorous	کیلوگرم در هکتار $kg.ha^{-1}$	142	123	112	108	85	120	85	80	75	70
پتاسیم Potassium	کیلوگرم در هکتار $kg.ha^{-1}$	105	95	86	80	80	100	100	95	95	90
روی Zinc	کیلوگرم در هکتار $kg.ha^{-1}$	30	20	15	10	10	27	24	20	15	10
آفت‌کش‌ها Pesticides	کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار $kg\ a.i.\ ha^{-1}$	10.2	9.8	9.2	8.5	8	8.5	8.3	8	7.5	7
خروجی‌ها Outputs	کیلوگرم در هکتار										
عملکرد دانه Grain yield	$kg.ha^{-1}$	2900	2700	2570	2450	2350	970	950	870	830	780

ارزیابی چرخه زندگی (LCA) اثرات زیست‌محیطی

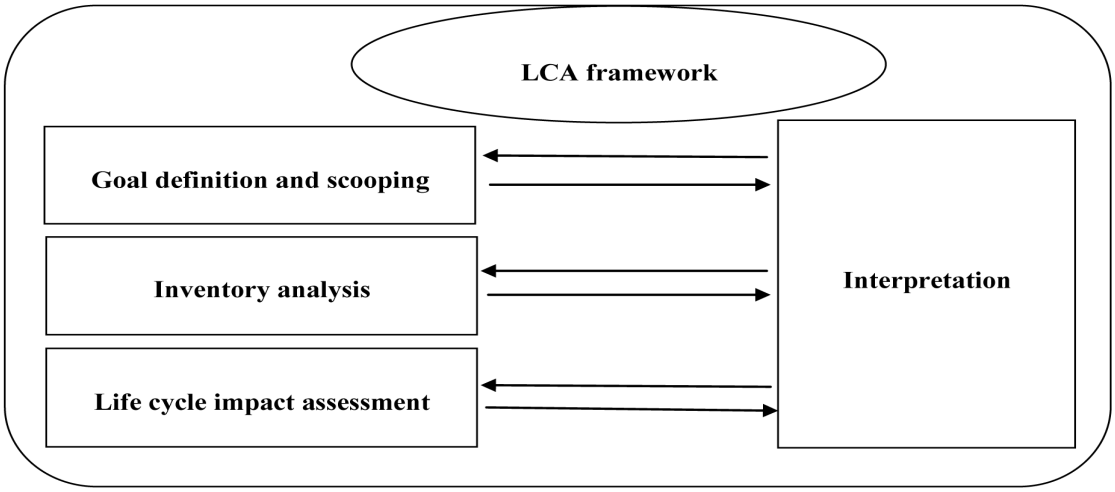
بر اساس استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰، ارزیابی چرخه حیات شامل چهار بخش: تعریف اهداف و حوزه عمل مطالعه، ممیزی چرخه حیات (تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه)، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی چرخه حیات و تفسیر نتایج است (Iriarte et al., 2010)، که جزئیات مربوط به هر بخش از دیگر مطالعات استخراج شد (Brentrup et al., 2004 a).

بیان هدف و واحد کارکردی

در روش ارزیابی چرخه حیات ابتدا هدف و واحد کارکردی مشخص می‌شود. هدف از ارزیابی چرخه حیات در این پژوهش بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید گندم بود. واحد کارکردی در این مطالعه بر مبنای تولید یک تن عملکرد دانه در نظر گرفته شد که کلیه ورودی‌ها و خروجی‌ها و اثرات زیست‌محیطی نسبت به آن سنجیده شدند. با توجه به اینکه مزرعه دارای دو خروجی، یکی محصول دانه و دیگری کاه و کلش بود، توزیع (تخصیص) اثرات زیست‌محیطی به‌صورت ۹۰ درصد دانه و ۱۰ درصد کاه و کلش در نظر گرفته شد که مطابق ارزش اقتصادی آن‌ها است (Rebitzer et al., 2004).

صورت‌برداری از چرخه حیات

این بخش پرکارترین و زمان‌برترین مرحله انجام LCA است (Roy et al., 2009). در این مرحله کلیه منابع (ورودی‌ها) و نهاده‌های مورد نیاز برای تولید گندم و مقادیر تمامی آلاینده‌های منتشر شده در اثر استفاده از انواع مختلف نهاده‌ها فهرست‌برداری شدند. در هر مرحله از صورت‌برداری به موارد زیر توجه شده است: (۱): زیرساخت‌ها: شامل ساخت، نگهداری و استهلاک ماشین‌آلات و ساختمان‌ها (پناهگاه‌ها برای ماشین‌آلات)، (۲) کلیه عملیات زراعی شامل تهیه بستر، کاشت، تغذیه گیاه، حفاظت گیاه، آبیاری، برداشت و حمل‌ونقل و تأمین و مصرف سوخت جهت انجام عملیات و (۳) تولید کودها و آفت‌کش‌ها و حمل‌ونقل آن‌ها. نتیجه مرحله صورت‌برداری فهرستی از ورودی‌ها به مزرعه و خروجی‌ها و انتشارات از مزرعه (شکل ۱) است (Brentrup et al., 2004 a).



شکل ۱- مراحل چهارگانه ارزیابی چرخه حیات
Fig. 1- Life cycle assessment framework

ارزیابی تأثیر در چرخه حیات

در این مرحله باید مشخص ساخت که کدام طبقه تأثیر لحاظ شود و نیز برای ارزیابی تأثیر از چه روشی استفاده شود. در این تحقیق، با توجه به اهمیت مباحث محیط‌زیستی در تولید گندم، برخی از شاخص‌های رده‌اثر مهم و تأثیرگذار با مدل‌های مختلف LCA در نرم‌افزار SimaPro نسخه ۸/۲ برآورد شدند. پس از بررسی‌های انجام شده روی مدل‌های مختلف، ارزیابی چرخه حیات و مقایسه کلی نتایج بر مبنای مدل CML non-baseline در نرم‌افزار SimaPro استفاده شد (SimaPro, 2011). سپس شاخص کلی انتشار آلاینده‌ها محاسبه شد. به‌منظور ارزیابی دقیق و کامل چرخه زندگی اثرات محیط‌زیستی

در مرحله بعد با استفاده از سایر روش‌ها (Ecopoints 97، Cumulative Energy Demand، Cumulative Exergy Demand، IPCC GWP 100a، Ecological footprint و Water footprint) تمامی شاخص‌های انتشار آلاینده‌های محیط‌زیستی محاسبه و ارزیابی چرخه زندگی به‌طور کامل انجام شد. سپس، نتایج به‌دست آمده از هر مدل با یکدیگر مقایسه و ارزیابی شدند. در مرحله ارزیابی تأثیر، ابتدا تعیین شد که هر یک از مواد انتشاریافته به محیط دارای کدام تأثیر بوده و باید در کدام طبقه تأثیر قرار گیرد. سپس، این انتشارات به یک واحد معادل برای طبقه تأثیر تبدیل شدند. برای مثال، گازهای انتشار یافته CO_2، N_2O و CH_4 دارای تأثیر بر گرم شدن زمین هستند، ولی پتانسیل این گازها در ایجاد تغییر اقلیم متفاوت است، به این صورت که هر کیلوگرم N_2O و CH_4 به‌ترتیب معادل ۳۱۰ و ۲۵ کیلوگرم CO_2 اثر گلخانه‌ای دارند (Brentrup et al., 2004 a). برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی و تفسیر دقیق ورودی‌ها و خروجی‌ها سه مرحله طبقه‌بندی، نرمال‌سازی و وزن‌دهی داده‌ها انجام می‌شود.

الف) طبقه‌بندی: این مرحله در LCA الزامی است. بر اساس ISO گروه‌های تأثیر بسته به نوع مطالعه تعریف می‌شوند. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های مختلف LCA در نرم‌افزار SimaPro گروه‌های تأثیر متعددی برای تولید یک تن عملکرد دانه با اثر مربوطه برآورد و مقایسه شدند. مهم‌ترین گروه‌های تأثیر در این تحقیق شامل: مهم‌ترین شاخص‌های رده‌اثر مورد ارزیابی شامل گرمایش جهانی طی دوره ۵۰۰ ساله، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان، بدبو شدن هوا، تخلیه لایه ازون دوره ۴۰ ساله، ردپای بوم‌شناختی و ردپای آب بودند (Brentrup et al., 2004 a).

ب) نرمال‌سازی: این مرحله در LCA اختیاری است. در این مرحله سهم هر شاخص رده‌اثر در کل اثرات محیط‌زیستی یک منطقه تعیین می‌شود. به‌عبارت دیگر، در مرحله نرمال‌سازی نتایج مرحله قبل در گستره یک منطقه تقسیم می‌شود. نتایج به‌دست آمده در مرحله قبل، یعنی شاخص طبقه‌بندی هر رده‌اثر بر یک عامل نرمال‌سازی تقسیم می‌شود، تا هم به اهمیت داده‌های مرحله قبل پی برده، داده‌ها بدون واحد شده و برای مرحله وزن‌دهی آماده شوند (Brentrup et al., 2004 a).

ج) وزن‌دهی: این مرحله نیز در LCA اختیاری است. در این مرحله به شاخص رده‌اثر محیط‌زیستی (بر اساس کارایی که برای آسیب زدن به محیط زیست) یک وزن داده شده که به گروه تأثیر دارای کارایی آسیب بالاتر، مقدار بیشتری تعلق می‌گیرد (Brentrup et al., 2004 a).

تلفیق و تفسیر نتایج

در این مرحله نتایج حاصل جهت مقایسه اثرات محیط‌زیستی تولید گندم مطابق استانداردهای موجود مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این پژوهش، برای ارزیابی دقیق‌تر و با حساسیت بالاتر و همچنین کاهش عدم قطعیت نتایج، از نرمال‌سازی و وزن‌دهی داده‌ها صرف‌نظر شد که به تبع شاخص محیط‌زیستی تحت عنوان شاخص بوم‌شناخت (Eco-index) که معیار نهایی LCA است، محاسبه نشد (Brentrup et al., 2004 a):

$$EcoX = \sum Ni \times W_i$$

معادله (۱)

که در آن، EcoX: شاخص محیطی بوم‌شناخت به‌ازای واحد کارکردی، Ni: مقدار نرمال شده مربوط به هر گروه تأثیر و Wi: وزن مربوط به هر یک از مقادیر Ni است. هرچه شاخص زیست‌محیطی بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر در آسیب به محیط زیست است.

نتایج و بحث

مدل تقاضای انرژی تجمعی (CED)

مدل تقاضای انرژی تجمعی شامل شش شاخص رده‌اثر انرژی تجدیدناپذیر (فسیلی، هسته‌ای و زیست‌توده) و انرژی تجدیدپذیر (زیست‌توده، آب و بادی- خورشیدی- زمین‌گرمایی) است که تمامی ورودی‌ها بر مزرعه (بذر، سوخت، نیروی برق، ادوات و ماشین‌آلات، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آفت‌کش‌ها) بر آن اثرگذار بودند که مجموع آن‌ها به‌عنوان تقاضای انرژی تجمعی در نظر گرفته شد (جدول ۳). طبق یافته‌های جدول ۳ میانگین مقدار تقاضای انرژی تجمعی در دو روش کاشت دیم و آبی گندم برابر ۳۰۲۴۴/۴۹ مگاژول بود که کشت دیم با میانگین ۴۱۹۵۲/۱۵ مگاژول بالاتر از کشت آبی (۱۸۵۳۶/۸۳ مگاژول) قرار گرفت. در کشت آبی با افزایش اندازه مزرعه از زیر دو هکتار (مزارع خیلی کوچک) به بالای ۱۵ هکتار (مزارع خیلی بزرگ) تقاضای انرژی تجمعی روند کاهشی نشان داد، ولی در کشت دیم تقاضای انرژی تجمعی روند متغیر را نشان داد که بیشترین مقدار آن در مزارع خیلی کوچک (۴۴۰۵۳/۰۱ مگاژول در هکتار) و کمترین

مقدار آن (۴۰۶۸۵/۶۵ مگاژول) در مزارع کوچک به‌دست آمد.

جدول ۳- ارزیابی چرخه حیات تولید گندم در کشت آبی و دیم بر اساس اندازه مزرعه به‌وسیله مدل‌های WF و EF ،IPCC 2013 GWP 100a ،GGP ،CExD ،CED

Table 3- Life cycle assessment of irrigated and rainfed wheat production based on farm sizes by CED, CExD, GGP, IPCC 2013 GWP 100a, EF and WF models

تیمارها Treatment	تقاضای انرژی تجمعی Cumulative energy demand (MJ)	تقاضای اکسرژی تجمعی Cumulative exergy demand (MJ)	پروتکل گازهای گلخانه‌ای Greenhouse gas protocol (kg CO_2 eq)					پتانسیل گرمایش جهانی ۱۰۰ ساله IPCC GWP 100a (kg CO_2 eq)	ردپای بوم‌شناختی Ecological footprint (m^2a)	ردپای آب Water footprint (m^3)
			معادل دی‌اکسید کربن فسیلی Fossil CO_2 eq	معادل دی‌اکسید کربن بیوژنیک Biogenic CO_2 eq	معادل دی‌اکسید کربن ناشی از تغییر شکل زمین From land transformation CO_2 eq	دی‌اکسید کربن جذب شده CO_2 uptake				
کشت آبی Irrigated										
<2 ha	19814.02	22666.01	848.61	23.23	1.82	173.15	862.72	2721.77	49.59	
2-5 ha	19183.62	21958.16	822.81	22.47	1.73	172.35	836.33	2647.53	48.84	
5-10 ha	18326.36	21025.67	783.85	21.40	1.66	170.37	797.00	2538.87	47.74	
10-15 ha	17874.65	20557.95	763.53	20.92	1.64	169.25	775.75	2484.18	47.23	
>15 ha	17485.49	20001.18	746.20	20.24	1.48	165.14	758.13	2413.29	45.63	
میانگین Mean	18536.83	21241.79	793.00	21.65	1.67	170.05	805.99	2561.13	47.81	
اشتباه استاندارد SE	426.48	479.32	18.87	0.54	0.06	1.41	19.27	124.04	0.68	
ضریب تغییرات CV (%)	5.14	5.04	5.32	5.53	7.66	1.85	5.35	4.84	3.19	
کشت دیم Rainfed										
<2 ha	44053.01	50210.55	1996.02	56.63	4.47	340.58	2031.98	6221.34	96.75	
2-5 ha	40685.65	46150.31	1841.75	51.77	3.66	332.04	1874.15	5733.85	103.44	
5-10 ha	41278.55	46814.68	1862.79	52.74	3.73	333.82	796.50	5792.38	97.13	
10-15 ha	41528.35	47034.49	1885.22	53.44	3.74	333.73	1918.76	5843.67	97.57	
>15 ha	42215.17	47769.75	1918.08	54.29	3.76	336.50	1952.36	5935.33	98.66	
میانگین Mean	41952.15	47595.95	1900.77	53.78	3.87	335.33	1714.75	5905.31	98.71	
اشتباه استاندارد SE	579.66	702.92	26.96	0.82	0.15	1.49	231.01	85.65	1.22	
ضریب تغییرات CV (%)	3.09	3.30	3.17	3.43	8.63	0.99	30.12	3.24	2.78	
میانگین کل Total mean	30244.49	34418.87	1346.88	37.71	2.77	252.70	1260.37	4233.22	73.26	
اشتباه استاندارد SE	3917.27	4410.63	185.28	5.37	0.37	27.56	186.77	559.44	8.51	
ضریب تغییرات CV (%)	40.96	40.52	43.50	45.06	42.82	34.49	46.86	41.79	36.73	

میزان این شاخص در مزارع با اندازه متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ به‌ترتیب معادل ۴۱۲۷۸/۵۵، ۴۱۵۲۸/۳۵ و ۴۲۲۱۵/۱۷ مگاژول بود (جدول ۳). طبق یافته‌ها، تمامی ورودی‌ها به مزرعه و خروجی (عملکرد دانه) بر تقاضای انرژی تجمعی اثرگذار بودند. بنابراین، متغیر بودن مقدار این شاخص بر اساس اندازه مزرعه در کشت دیم می‌تواند به‌دلیل تغییرات کمتر مقدار خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها در مزارع خیلی کوچک تا خیلی بزرگ باشد. این نتایج نشان می‌دهد که سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر در کشت آبی در مقایسه با کشت دیم پایین‌تر است. این مسئله از لحاظ بوم‌شناختی اهمیت قابل توجهی دارد، زیرا منبع انرژی‌های تجدیدناپذیر که عمدتاً سوخت‌های فسیلی هستند و تکیه بر این منابع در آینده همراه با مخاطرات زیادی است (Dastan et al., 2015 a,b). بنابراین، با تجزیه و تحلیل انرژی ورودی، می‌توان به میزان استفاده از تمام شکل‌های انرژی پی برد و از منابع محدود نظیر زمین، آب و منابع زیستی برای نسل‌های آینده حفاظت کرد. در واقع، توسعه نظام‌های کشاورزی با حداقل انرژی ورودی می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک شایانی کند (Dastan et al., 2015 a,b).

مدل تقاضای اکسرژی تجمعی (CExD)

شاخص اکسرژی تجمعی به‌عنوان مجموع اکسرژی تمامی منابع مورد نیاز برای تولید یک محصول و یا فراهم آوردن یک خدمت بیان می‌شود. این شاخص مشابه شاخص رایج‌تر یعنی تقاضای انرژی تجمعی است، با این تفاوت که تقاضای اکسرژی تجمعی، کیفیت منابع انرژی و همچنین منابع غیرانرژی مانند مواد معدنی و فلزات را نیز محاسبه می‌کند (Bosch et al., 2007). این روش شامل ۱۰ شاخص رده‌اثر انرژی تجدیدناپذیر (فسیلی، هسته‌ای، فلزات و عناصر) و انرژی تجدیدپذیر (جنبشی، خورشیدی، پتانسیل، انرژی اولیه، زیست‌توده و آب) است که مجموع آن‌ها به‌عنوان تقاضای انرژی تجمعی در نظر گرفته شد. طبق یافته‌ها، تمامی ورودی‌ها به مزرعه بر آن اثرگذار بودند. میانگین این شاخص نیز دو کشت دیم و آبی برابر ۳۴۴۱۸/۸۷ مگاژول بود که در کشت آبی کمتر از کشت دیم به‌دست آمد (جدول ۳). میانگین این شاخص در کشت آبی برابر ۲۱۲۴۱/۷۹ با افزایش اندازه مزارع از خیلی کوچک به خیلی بزرگ، تقاضای اکسرژی تجمعی روند کاهشی را نشان داد که از ۲۲۶۶۶/۰۱ مگاژول به ۲۰۰۰۱/۱۸ مگاژول رسید. در کشت دیم نیز میانگین تقاضای اکسرژی تجمعی برابر ۴۷۵۹۵/۹۵ مگاژول بود که بیشترین مقدار متعلق به مزارع خیلی کوچک و کمترین مقدار نیز متعلق به اراضی کوچک بود. همچنین، اراضی متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ از نظر شاخص تقاضای اکسرژی تجمعی در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند (جدول ۳). تمامی ورودی‌ها و خروجی بر تقاضای اکسرژی تجمعی تأثیر داشتند. متغیر بودن مقدار این شاخص در کشت دیم می‌تواند به‌دلیل دامنه تغییرات با ثبات بالاتر مقادیر خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها در مزارع خیلی کوچک تا خیلی بزرگ باشد.

مدل پروتکل گازهای گلخانه‌ای (GGP)

بر اساس یافته‌های جدول ۳، این روش دارای چهار شاخص رده‌اثر اکی‌والان CO_2 فسیلی، اکی‌والان CO_2 بیوژنیک، اکی‌والان CO_2 ناشی از تغییرشکل (ترادیسی) زمین و CO_2 جذب شده بود که هر یک از شاخص‌ها به‌تفکیک ارائه شد. تمامی ورودی‌ها همانند دو روش CED و CExD بر پروتکل گازهای گلخانه‌ای اثر داشتند. تمامی شاخص‌های رده‌اثر متعلق به کشت دیم گندم بالاتر از کشت آبی بود که در کشت آبی با افزایش اندازه مزارع از خیلی کوچک به خیلی بزرگ مقادیر هر یک از چهار شاخص رده‌اثر روند کاشی را نشان داد. ولی در کشت دیم هر چهار شاخص در مزارع خیلی کوچک حداکثر و در مزارع کوچک حداقل بود. مزارع متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). دلیل عمده تغییرپذیری GGP در کشت دیم را می‌توان به مقادیر ورودی‌ها و خروجی (عملکرد) در این روش کاشت ربط داد.

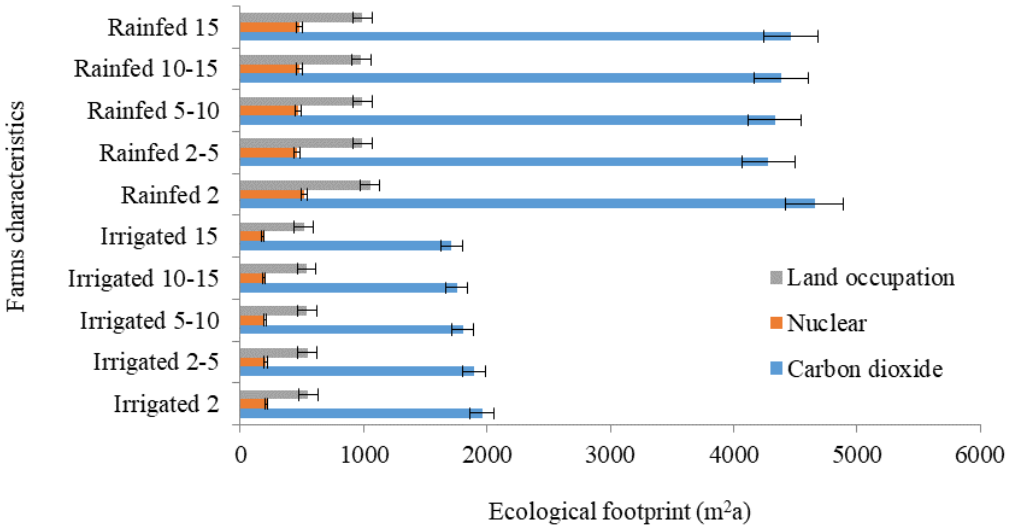
مدل پتانسیل گرمایش جهانی دوره ۱۰۰ ساله (GWP 100a)

شاخص پتانسیل گرمایش جهانی در دوره ۱۰۰ ساله بر اساس پروتکل IPCC 2013 ارزیابی شد. این شاخص رده‌اثر ناشی از از تمامی ورودی‌ها به مزرعه و خروجی بود. میانگین در دو کشت آبی و دیم برابر ۱۲۶۰/۳۷ کیلوگرم معادل CO_2 بود که این شاخص نیز همانند سایر روش‌های مورد ارزیابی در کشت دیم به‌طور قابل توجهی بالاتر از کشت آبی بود (جدول ۳). میانگین GWP 100a در کشت آبی برابر ۸۰۵/۹۹ کیلوگرم معادل CO_2 بوده که با کاهش افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ (از ۸۶۲/۷۲ به ۷۵۸/۱۳

کیلوگرم معادل CO_2) روند کاهشی را نشان داد. در کشت دیم نیز روند تغییرات از ۲۰۳۱/۹۸ الی ۷۹۶/۵ کیلوگرم معادل CO_2 بوده که بیشترین و کمترین مقدار آن به‌ترتیب متعلق به مزارع خیلی کوچک و متوسط بود. همچنین، مزارع خیلی بزرگ، بزرگ و کوچک به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳).

مدل ردپای بوم‌شناختی (EF)

در این روش سه گروه تأثیر دی‌اکسید کربن، انرژی هسته‌ای و اشغال زمین بر اساس مترمربع در سال (m^2a) ارزیابی شدند. تمامی ورودی‌ها بر ردپای بوم‌شناختی اثرگذار بودند که نیتروژن و ماشین‌آلات بیشترین تأثیر را بر انتشار دی‌اکسید کربن و هسته‌ای و بذر مصرفی بالاترین اثر را بر اشغال زمین نشان داد. میانگین ردپای بوم‌شناختی در دو روش کاشت برابر ۱۲۳۳/۲۲ مترمربع در سال بوده که در کشت دیم (۵۹۰۵/۳۱ مترمربع در سال) به‌میزان قابل توجهی بالاتر از کشت دیم (۲۵۶۱/۱۳ مترمربع در سال) بود (جدول ۳). در کشت آبی گندم با افزایش اندازه زمین ردپای بوم‌شناختی روند کاهشی را نشان داد که مقادیر آن‌ها از ۲۷۲۱/۷۷ به ۲۴۱۳/۲۹ مترمربع در سال رسید. ولی، در کشت دیم بالاترین میزان این شاخص در مزارع خیلی کوچک (۶۲۲۱/۳۴ مترمربع در سال) و کمترین مقدار آن در مزارع کوچک و متوسط (به‌ترتیب ۵۷۳۳/۸۵ و ۵۷۹۲/۳۸ مترمربع در سال) به‌دست آمد که مزارع بزرگ و خیلی بزرگ در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند (جدول ۳). طبق یافته‌های شکل ۲، مشاهده می‌شود که شاخص رده‌اثر اشغال زمین بالاترین اثر را بر ردپای بوم‌شناختی داشته و انتشار دی‌اکسید کربن و انرژی هسته‌ای به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.



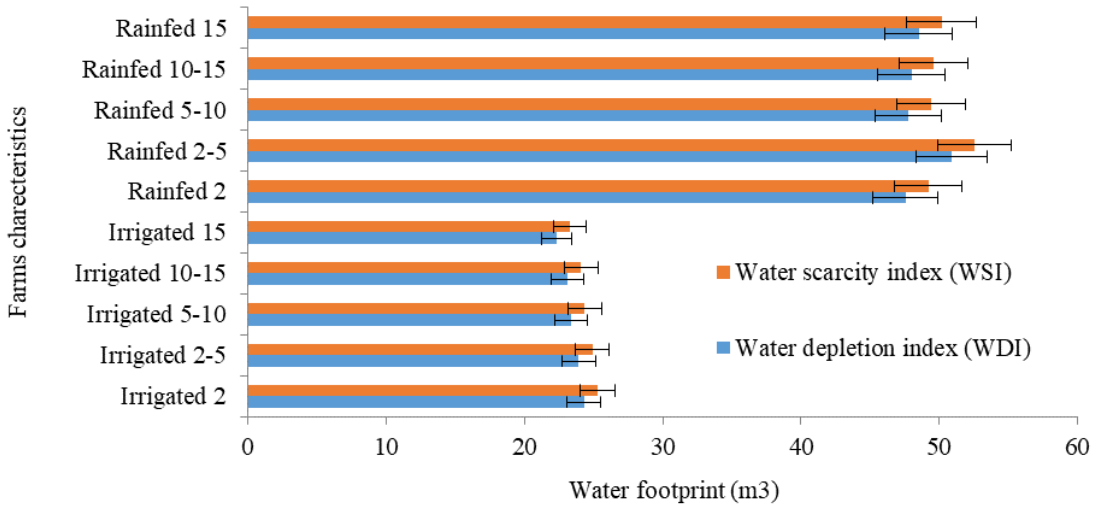
شکل ۲ - مقایسه کشت آبی و دیم گندم در اندازه‌های مختلف به‌وسیله شاخص‌های رده‌اثر مدل ردپای بوم‌شناختی

Fig. 2- Comparsion of irrigated and rainfed wheat in different farm sizes by impact categories of ecological footprint model

مدل ردپای آب (WF)

این روش بر اساس دو شاخص رده‌اثر تخلیه آب (WDI) و کمبود آب (WSI) بر اساس مترمکعب ارزیابی شد. میانگین مقدار ردپای آب در دو روش کشت آبی و دیم برابر ۷۳/۲۶ مترمکعب برآورد شد که در کشت دیم به‌مقدار قابل توجهی بالاتر از کشت آبی به‌دست آمد (جدول ۳). ردپای آب در کشت آبی با میانگین برابر ۴۷/۸۱ مترمکعب با افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ معادل ۷/۹۹ درصد (از ۴۹/۵۹ به ۴۵/۶۳ مترمکعب) کاهش یافت. میانگین ردپای آب در کشت دیم برابر ۹۸/۷۱ مترمکعب بود که بیشترین مقدار متعلق به مزارع کوچک (۱۰۳/۴۴ مترمکعب) بود که مزارع خیلی بزرگ، بزرگ و متوسط در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. کمترین مقدار این شاخص (۹۶/۷۵ مترمکعب) متعلق به مزرعه خیلی کوچک بود (جدول ۳). طبق یافته‌های شکل ۳، میانگین WDI در دو روش کاشت برابر ۳۷/۲۸ مترمکعب بود که در کشت آبی برابر ۲۴/۳۹ مترمکعب و در

کشت دیم برابر ۵۰/۱۸ مترمکعب بود. میانگین WSI در هر رو روش کاشت برابر ۳۷/۲۸ مترمکعب حاصل شد که در کشت آبی برابر ۲۴/۳۹ مترمکعب و در کشت دیم برابر ۵۰/۱۸ مترمکعب مشاهده شد. هر دو شاخص ردپاثر WDI و WSI در کشت دیم بالاتر از کشت آبی بود که مقدار شاخص WSI به‌مقدار اندکی بالاتر از WDI به‌دست آمد. هر دو شاخص در کشت آبی با افزایش اندازه مزارع کاهش و در کشت دیم متغیر بود (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه کشت آبی و دیم گندم در اندازه‌های مختلف به‌وسیله شاخص‌های ردپاثر مدل ردپای آب

Fig. 3- Comparsion of irrigated and rainfed wheat in different farm sizes by impact categories of water footprint model

مدل CML-IA non-baseline

مقادیر شاخص‌های ردپاثر مربوط به مدل CML-IA non-baseline در جداول ۴ و ۵ ارایه شد. در جدول ۴ شاخص‌های ردپاثر تخلیه غیرزنده، رقابت زمین، گرمایش جهانی ۵۰۰ ساله، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان و بدبو شدن هوا ارزیابی شدند. در دو روش کاشت آبی و دیم میانگین تخلیه غیرزنده برابر ۰/۵۹۹۶ کیلوگرم معادل انتیموان (Sb)، اشغال زمین (۳۷۵/۸۱ مترمربع در سال)، گرمایش جهانی ۵۰۰ ساله (۱۲۰۴/۴۰ کیلوگرم معادل CO_2، اسیدی شدن (۹/۲۲ کیلوگرم معادل SO_2)، یوتریفیکاشیون (۵/۸۱ کیلوگرم معادل PO_4)، بدبویی هوا (۱۸۳۴۲۳۱۷ مترمکعب هوا) بود که تمامی این شاخص‌ها در کشت دیم به‌طور قابل توجه و بسیار بالایی بیشتر از کشت آبی بود. در کشت آبی با افزایش اندازه زمین از خیلی کوچک به خیلی بزرگ مقدار تمامی شاخص‌های ردپاثر روند کاهشی را نشان داد، ولی در کشت دیم با افزایش اندازه مزرعه این شاخص‌ها روند ناپایدار را نشان دادند که بیشترین مقدار آن‌ها در مزارع خیلی کوچک مشاهده شد که سایر مزارع مقادیر نزدیک به یکدیگر را نشان دادند (جدول ۴). در جدول ۵ نیز یافته‌های شاخص‌های ردپاثر تخلیه لایه ازون دوره ۴۰ ساله، مسمومیت انسان در دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت زیستی گونه‌های آبزی در آب‌های شیرین طی دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت زیستی گونه‌های دریایی در دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت ناشی از رسوبات در دریا و آب‌های شیرین در دوره ۱۰۰ ساله و مسمومیت زیستی زمین در دوره ۱۰۰ ساله ارائه شد.

در کشت آبی و دیم میانگین شاخص تخلیه ازن (۰/۰۰۰۳۹۱ کیلوگرم معادل کلروفلوروکربن-۱۱)، مسمومیت انسان (۹۳۱/۱۱ کیلوگرم معادل 1,4-DB)، مسمومیت زیستی گونه‌های آبزی در آب‌های شیرین (۳۶/۸۲ کیلوگرم معادل 1,4-DB)، مسمومیت زیستی گونه‌های دریایی (۲۵۸/۱۸ کیلوگرم معادل 1,4-DB)، مسمومیت ناشی از رسوبات دریایی و آب‌های شیرین (۶۹/۶۳ و ۳۲۲/۵۷ کیلوگرم معادل 1,4-DB) و مسمومیت زیستی زمین در دوره ۱۰۰ ساله برابر ۴/۸۹ کیلوگرم معادل 1,4-DB به‌دست آمد (جدول ۵).

جدول ٤- ارزیابی چرخه حیات تولید گندم در کشت آبی و دیم بر اساس اندازه مزرعه به‌وسیله شاخص‌های رده‌اثر مدل‌های CML-IA non-baseline در منطقه بوشهر

Table 4- Life cycle assessment of irrigated and rainfed wheat production based on farm sizes by impact categories of CML-IA non-baseline models in Bousher

تیمارها Treatment	تخلیه غیرزنده Abiotic depletion (kg Sb eq)	رقابت زمین Land competition (m^2a)	گرمایش جهانی ۵۰۰ ساله Global warming 500a (kg CO_2 eq)	اسیدی شدن Acidification (kg SO_2 eq)	یوتریفیکاسیون Eutrophication (kg PO_4 eq)	تابش یونیزان Ionising radiation (DALYs)	بدبویی هوا Malodorous air (m^3 air)
کشت آبی Irrigated							
<2 ha	0.3958	265.97	757.70	5.89	3.78	1.28002E-06	11355403
2-5 ha	0.3744	263.62	734.00	5.70	3.69	1.23129E-06	11114375
5-10 ha	0.3568	260.47	698.69	5.45	3.56	1.16913E-06	10629980
10-15 ha	0.3522	259.30	680.41	5.33	3.49	1.14313E-06	10320346
>15 ha	0.3184	248.48	664.50	5.14	3.40	1.10702E-06	10066842
میانگین Mean	0.3595	259.57	707.06	5.50	3.58	1.18612E-06	10697389
اشتباه استاندارد SE	0.0128	3.01	17.15	0.13	0.07	3.1026E-08	239912
ضریب تغییرات CV (%)	7.98	2.59	5.42	5.43	4.21	5.85	5.01
کشت دیم Rainfed							
<2 ha	0.9641	517.44	1789.31	13.77	8.40	2.85607E-06	27124334
2-5 ha	0.8006	485.96	1648.00	12.50	7.82	2.57926E-06	25264236
5-10 ha	0.8171	487.18	1667.32	12.67	7.87	2.61794E-06	25721749
10-15 ha	0.8080	483.01	1687.38	12.77	7.96	2.62652E-06	25754354
>15 ha	0.8087	486.68	1716.69	12.94	8.08	2.67485E-06	26071551
میانگین Mean	0.8397	492.06	1701.74	12.93	8.03	2.67093E-06	25987245
اشتباه استاندارد SE	0.0312	6.39	24.67	0.22	0.10	4.87216E-08	312054
ضریب تغییرات CV (%)	8.3108	2.90	3.24	3.85	2.89	4.08	2.68
میانگین کل Total mean	0.5996	375.81	1204.40	9.22	5.81	1.92852E-06	18342317
اشتباه استاندارد SE	0.0816	38.89	166.38	1.24	0.74	2.48962E-07	2555056
ضریب تغییرات C.V. (%)	43.03	32.72	43.68	42.67	40.46	40.82	44.05

افزایش اندازه زمین از خیلی کوچک به خیلی بزرگ روند کاهشی را نشان داد، ولی در کشت دیم مزارع خیلی کوچک از نظر انتشار این آلاینده‌ها در رتبه اول قرار گرفت. در کشت دیم، از نظر مسمومیت انسان، مسمومیت زیستی گونه‌های آبزی و مسمومیت ناشی از رسوبات در آب‌های شیرین مزارع خیلی بزرگ در رتبه دوم قرار گرفت. ولی مقادیر شاخص‌های مسمومیت زیستی گونه‌های دریایی، مسمومیت ناشی از رسوبات در دریا و مسمومیت زیستی زمین با افزایش اندازه مزارع از خیلی کوچک به خیلی بزرگ به‌ترتیب معادل ۲۸/۲، ۳۰/۴۵ و ۶/۸۱ درصد کاهش نشان دادند (جدول ۵). سهم NH_3 در پتانسیل اسیدی شدن با اختلاف زیادی بیشتر از NO_2 و SO_2 بود. منبع انتشار NH_3 کود اوره است. تصعید آمونیاک اثر مهمی در ایجاد اثرهای زیست‌محیطی یوتریفیکاسیون و اسیدی شدن دارد. علت بالا بودن آلاینده‌ها در کشت دیم در مقایسه با کشت آبی را می‌توان به دامنه تغییرات با ثبات بالاتر مقادیر خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها در مزارع خیلی کوچک تا خیلی بزرگ نسبت داد. نتایج مقایسه بین انرژی‌های ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن‌ها نشان داد که بین انرژی‌های ورودی و پتانسل گرمایش جهانی ناشی از آن ارتباط مستقیمی وجود دارد.

جدول ٦- ارزیابی چرخه حیات تولید گندم در کشت آبی و دیم بر اساس اندازه مزرعه به‌وسیله شاخص‌های رده‌اثر مدل Ecopoint 97 در منطقه بوشهر

Table 6- Life cycle assessment of irrigated and rainfed wheat production based on farm sizes by impact categories of Ecopoint 97 models in Bousher

تیمارها Treatment	انتشار به هوا Emission into air (g)				انتشار به آب Emission into water (g)						
	Pb	Cd	Zn	Hg	Cr	Zn	Cu	Cd	Hg	Pb	Ni
کشت آبی Irrigated											
<2 ha	1.32	0.1278	53.93	0.0323	2.55	3.72	1.35	0.2382	0.2127	1.12	1.07
2-5 ha	1.28	0.1239	39.19	0.0312	2.45	3.60	1.27	0.2226	0.1983	1.05	1.01
5-10 ha	1.21	0.1180	31.25	0.0297	2.36	3.47	1.22	0.2131	0.1899	1.00	0.97
10-15 ha	1.18	0.1146	22.47	0.0290	2.36	3.43	1.23	0.2150	0.1919	1.00	0.97
>15 ha	1.14	0.1121	23.20	0.0281	2.13	3.16	1.05	0.1793	0.1585	0.85	0.83
میانگین Mean	1.23	0.1193	34.01	0.0301	2.37	3.48	1.23	0.2136	0.1903	1.00	0.97
اشتباه استاندارد SE	0.03	0.0029	5.84	0.0007	0.07	0.09	0.05	0.0096	0.0089	0.04	0.04
ضریب تغییرات C.V. (%)	5.94	5.4302	38.38	5.6312	6.57	5.99	9.05	10.10	10.4360	9.68	9.20
کشت دیم Rainfed											
<2 ha	3.13	0.3030	144.38	0.0766	5.77	8.67	3.28	0.5940	0.5335	2.77	2.64
2-5 ha	2.82	0.2775	130.83	0.0701	4.81	7.46	2.50	0.4391	0.3892	2.08	2.02
5-10 ha	2.87	0.2796	119.59	0.0713	4.90	7.64	2.55	0.4505	0.3997	2.14	2.07
10-15 ha	2.88	0.2852	95.07	0.0717	4.82	7.58	2.52	0.4433	0.3929	2.11	2.04
>15 ha	2.93	0.2905	68.96	0.0729	4.85	7.61	2.51	0.4412	0.3905	2.10	2.03
میانگین Mean	2.92	0.2872	111.77	0.0725	5.03	7.79	2.67	0.4736	0.4212	2.24	2.16
اشتباه استاندارد SE	0.05	0.0046	13.42	0.0011	0.18	0.22	0.15	0.0301	0.0281	0.13	0.12
ضریب تغییرات CV (%)	4.12	3.5511	26.84	3.4636	8.25	6.36	12.79	14.23	14.94	13.30	12.46
میانگین کل Total mean	2.08	0.2032	72.89	0.0513	3.70	5.63	1.95	0.3436	0.3057	1.62	1.57
اشتباه استاندارد SE	0.28	0.0281	14.68	0.0071	0.45	0.73	0.25	0.0458	0.0409	0.22	0.21
ضریب تغییرات C.V. (%)	43.30	43.72	63.69	43.81	38.70	40.86	40.96	42.17	42.33	42.18	41.71

جدول ۷- ارزیابی چرخه حیات تولید گندم در کشت آبی و دیم بر اساس اندازه مزرعه به‌وسیله شاخص‌های رده‌اثر مدل‌های Ecopoint 97 در منطقه بوشهر

Table 7- Life cycle assessment of irrigated and rainfed wheat production based on farm sizes by impact categories of Ecopoint 97 models in Bousher

تیمارها Treatment	نیترات به خاک Nitrate into soil (g)	فلزات به خاک Metals into soil (g Cd eq)	آفت‌کش‌ها به خاک Pesticide into soil (g act.subst.)	اکسید نیتروژن NOx (g)	اکسید گوگرد Sox (g SO_2 eq)	آمونیاک NH_3 (g)	گرد و غبار Dust PM10 (g)	تقاضای اکسیژن شیمیایی COD (g)	فسفر P (g)	نیتروژن N (g)
کشت آبی Irrigated										
<2 ha	2446.72	0.1126	22.50	1923.79	3896.73	341.23	1235.05	5260.87	125.35	1350.82
2-5 ha	2454.24	0.1132	22.54	1864.51	3754.63	338.41	1193.06	5042.13	120.60	1320.85
5-10 ha	2450.89	0.1133	22.45	1781.23	3575.34	330.87	1136.33	4775.56	117.49	1250.76
10-15 ha	2445.97	0.1132	22.38	1740.89	3494.80	325.73	1113.12	4638.50	117.94	1203.44
>15 ha	2377.15	0.1095	21.83	1686.34	3348.33	320.47	1065.93	4544.84	104.52	1215.03
میانگین Mean	2434.99	0.1124	22.34	1799.35	3613.96	331.34	1148.70	4852.38	117.18	1268.18
اشتباه استاندارد SE	14.54	0.0007	0.13	42.57	96.43	3.86	29.74	132.12	3.46	29.09
ضریب تغییرات C.V. (%)	1.33	1.46	1.31	5.29	5.97	2.60	5.79	6.09	6.60	5.13
کشت دیم Rainfed										
<2 ha	4396.16	0.1935	41.72	4477.13	9297.24	704.64	2921.42	11330.70	283.09	3308.62
2-5 ha	4334.74	0.1894	41.26	4091.64	8347.67	676.20	2627.75	10457.70	229.95	3103.74
5-10 ha	4327.85	0.1881	41.34	4144.39	8483.38	674.94	2671.62	10627.45	234.35	3088.83
10-15 ha	4277.76	0.1843	41.08	4180.98	8537.05	683.95	2682.50	10490.38	230.52	3230.00
>15 ha	4305.44	0.1855	41.35	4245.91	8642.96	694.87	2731.50	10590.29	229.96	3317.76
میانگین Mean	4328.39	0.1881	41.35	4228.01	8661.66	686.92	2726.96	10699.30	241.57	3209.79
اشتباه استاندارد SE	19.65	0.0016	0.10	67.15	165.86	5.68	51.34	160.89	10.41	48.84
ضریب تغییرات C.V. (%)	1.02	1.9179	0.56	3.55	4.28	1.85	4.21	3.36	9.64	3.40
میانگین کل Total mean	3381.69	0.1503	31.84	3013.68	6137.81	509.13	1937.83	7775.84	179.38	2238.98
اشتباه استاندارد SE	315.78	0.0127	3.17	406.51	846.13	59.35	264.53	979.42	21.37	324.71
ضریب تغییرات C.V. (%)	29.53	26.64	31.47	42.66	43.59	36.86	43.17	39.83	37.67	45.86

مدل Ecopoints 97

یافته‌های جداول ۶ و ۷ خروجی روش Ecopoints 97 با شاخص‌های رده‌اثر انتشار فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های زیست‌محیطی به‌تفکیک در هوا، آب و خاک را نشان می‌دهد. فلزات سنگین منتشر شده در هوا (سرب، کادمیم، روی و جیوه) و فلزات سنگین انتشار یافته در آب (کروم، روی، مس، کادمیم، جیوه، سرب و نیکل) بودند (جدول ۶). در دو روش کاشت آبی و دیم میانگین انتشار فلزات سنگین سرب، کادمیوم، روی و جیوه به‌ترتیب برابر ۲/۰۸، ۰/۲۰۳۲، ۷۷/۸۹ و ۰/۰۵۱۳ گرم بود که در روش کشت دیم بسیار بالاتر از کشت آبی بود. میانگین انتشار سرب، کادمیوم، روی و جیوه به هوا در کشت آبی به‌ترتیب برابر ۱/۲۳، ۰/۱۱۹۳، ۳۴/۰۱ و ۰/۰۳۰۱ گرم در کشت آبی به‌ترتیب برابر ۲/۹۲، ۲۸۷۲، ۱۱۱/۷۷ و ۰/۰۷۲۵ گرم به‌دست آمد. در روش کاشت آبی، با افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ انتشار تمامی فلزات سنگین به هوا روند کاهشی را نشان دادند.

در کشت آبی انتشار سرب، کادمیوم و جیوه متغیر بود که بیشترین انتشار این مواد به هوا در مزارع خیلی کوچک مشاهده شد، ولی انتشار روی با افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ معادل ۶۶/۹۸ درصد کاهش یافت (جدول ۶). میانگین انتشار کروم، روی، مس، کادمیم، جیوه، سرب و نیکل در کشت دیم به‌ترتیب برابر ۳/۷۰، ۵/۶۳، ۱/۹۵، ۰/۳۴۳۶، ۰/۳۰۵۷، ۱/۶۲ و ۱/۵۷ گرم حاصل شد (جدول ۶). همچنین، میانگین انتشار کروم، روی، مس، کادمیم، جیوه، سرب و نیکل در کشت آبی به‌ترتیب برابر ۲/۳۷، ۳/۴۸، ۱/۲۳، ۰/۲۱۳۶، ۱۹۰۳، ۱/۰۰ و ۰/۹۷ گرم و در کشت دیم به‌ترتیب برابر ۵/۰۳، ۷/۷۹، ۲/۶۷، ۰/۴۷۳۶، ۰/۴۲۱۲، ۲/۲۴ و ۲/۱۶ گرم به‌دست آمد که نشان می‌دهد انتشار این فلزات در کشت دیم به‌میزان قابل توجهی بالاتر از کشت آبی است. طبق یافته‌ها، تمامی فلزات سنگین منتشر شده به هوا در کشت آبی با افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ کاهش یافت. ولی در کشت دیم روند متغیر برای انتشار فلزات سنگین به هوا بر اساس اندازه زمین مشاهده شد که بیشترین مقدار متعلق به مزارع خیلی کوچک بود (جدول ۶).

در جدول ۷ شاخص‌های رده‌اثر انتشار نیترات، فلزات و آفت‌کش‌ها به خاک، انتشار NOx، SOx، آمونیاک، گرد و غبار، COD، فسفر و پتاسیم ارزیابی شدند. در دو روش کاشت آبی و دیم میانگین انتشار نیترات به خاک (۳۳۸۱/۶۹ گرم)، فلزات به خاک (۰/۱۵۰۳ گرم معادل کادمیوم)، آفت‌کش‌ها به خاک (۳۱/۸۴ گرم بر اساس ماده مؤثره)، انتشار NOx (۳۰۱۳/۶۸ گرم)، SOx (۶۱۳۷/۶۸۱ گرم معادل SO_2)، آمونیاک (۵۰۹/۱۳ گرم)، گرد و غبار (۱۹۳۷/۸۳ گرم)، COD (۷۷۷۵/۸۴ گرم)، فسفر (۱۷۹/۳۸ گرم) و پتاسیم (۲۲۳۸/۹۸ گرم) به‌دست آمد که تمامی این شاخص‌ها در کشت دیم به مقدار توجه و بسیار بالایی بیشتر از کشت آبی بود. در کشت آبی با افزایش اندازه زمین از خیلی کوچک به خیلی بزرگ مقدار تمامی این شاخص‌ها کاهش یافت. ولی در کشت دیم با افزایش اندازه مزرعه این شاخص‌ها روند متغیر را نشان دادند که بیشترین مقدار آن‌ها در مزارع خیلی کوچک مشاهده شد و سایر مزارع در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۷). با مقایسه گروهی بین کشت دیم و آبی مشاهده شد که در کشت دیم انتشار فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها به آب، هوا و خاک بالاتر از کشت آبی را دارا بودند که علت اصلی آن نیز تغییرات کمتر مقدار خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها در مزارع خیلی کوچک تا خیلی بزرگ باشد. در واقع، میزان فلزات سنگین منتشر شده به آب و خاک بر اساس برآورد سالانه رسوب این عناصر و نیز مقدار ورود آن‌ها به خاک از محل کود، سموم، بذر و رسوب و خروج آن‌ها از خاک توسط برداشت محصول، آب‌شویی و فرسایش محاسبه شده است.

یافته‌ها نشان می‌دهد کشت دیم گندم در منطقه بوشهر در تمامی شاخص‌های رده‌اثر مورد ارزیابی تقریباً دو برابر بالاتر از کشت آبی دارای اثر سوء محیط‌زیستی بود. در همین رابطه، دیگر محققان بیان داشتند انتشار گازهای گلخانه‌ای در هنگام فعالیت‌های متنوع کشاورزی یا به‌طور مستقیم از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی در طی اجرای عملیات زراعی (کاشت تا برداشت) و یا به‌طور غیرمستقیم در زمان تولید و حمل‌ونقل ورودی‌های مورد نیاز مزرعه (علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی) به‌دست می‌آیند (Wood & Cowie, 2004). در مطالعه‌ای دیگر نیز اعلام شد عملیات زراعی و غیر زراعی (تولید و حمل‌ونقل کودها و آفت‌کش‌ها) در تولید برنج هرکدام به‌ترتیب ۹۸-۸۰ و ۹۱-۱۶ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار پتانسیل گرمایش جهانی نقش دارند (Pathak & Wassmann, 2007). عوامل متفاوت طبیعی و انسانی باعث ایجاد گرمایش جهانی می‌شوند؛ امّا عموماً محققان آن را ناشی از افزایش انتشار گازهای

گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های انسانی می‌دانند (Bare, 2011)، که می‌تواند سبب تغییرات زیادی در الگوهای جهانی اقلیم شود. برای گزارش میزان گازهای گلخانه‌ای تولید شده، تمامی گازهای تولید شده با معادل دی‌اکسیدکربن که بیان‌گر پتانسیل گرمایش جهانی است، گزارش می‌شوند. در مطالعه سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013) مقدار پتانسیل گرمایش جهانی در گرگان را ۶۲۱ کیلوگرم معادل CO_2 به‌ازای تولید یک تن گندم گزارش شد. در دیگر تحقیقات شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر در بخش زراعی تولید گندم ۱۱۹/۵ کیلوگرم معادل CO_2 (Wang et al., 2007)، گندم در مرودشت ۲۶۲/۱ کیلوگرم معادل CO_2 (Mirhaji et al., 2013) و گندم در سوئیس ۳۸۱ کیلوگرم معادل CO_2 گزارش شد (Charles et al., 2006). مقدار تقاضای انرژی غیرقابل تجدید برای تولید یک تن گندم در گرگان ۶۶۴۱ مگاژول گزارش شد (Soltani et al., 2013). مقدار کل انرژی مصرفی در انگلیس بسته به نوع خاک و عملیات مزرعه‌ای و نظام‌های تولیدی بین ۲۷۴ تا ۵۵۷ مگاژول (Tzilivakis et al., 2005) و در ژاپن ۵۲۱ مگاژول (Koga, 2008) در هر تن چغندرقند گزارش شد.

مهم‌ترین مواد دارای پتانسیل اسیدی شدن در بوم‌نظام‌ها، دی‌اکسیدسولفور و اکسیدهای نیتروژن هستند که در جریان تولید در کشاورزی عمدتاً از مصرف سوخت‌های فسیلی ناشی می‌شوند، اگرچه آمونیاک حاصل از مصرف کودهای شیمیایی در مزرعه نیز از عوامل مهم اسیدی شدن است (Engstrom et al., 2009). علاوه‌براین، در مصرف سوخت، ادوات و ماشین‌آلات، تولید و حمل‌ونقل این مواد نیز اثر سمیت وجود دارد (Engstrom et al., 2009). این انتشارات به‌وسیله مجموعه فرآیندهای پیچیده انتقال اتمسفری و شیمیایی سبب اسیدی‌سازی شده و این به نوبه خود ایجاد اثرات زیان‌باری بر بوم‌نظام‌ها، جمعیت‌های گیاهی و جانوری می‌کند (Bare et al., 2003). در دیگر تحقیقات شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدیته برابر چهار کیلوگرم معادل SO_2 حاصل شد (Wang et al., 2007). در تحقیقی دیگر در شیلی شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدیته برای تولید کلزا و آفتابگردان به‌ترتیب ۱۹ و ۲۳ کیلوگرم معادل SO_2 محاسبه شد (Iriarte et al., 2010). اعتقاد بر آن است که انتشاراتی مانند کلروفلوروکربن‌ها و گازهای هالوژنه باعث تخریب لایه ازن در استراتوسفر می‌شوند (Bare et al., 2003). تخریب لایه ازن می‌تواند باعث اثراتی مثل سرطان پوست، ورود خسارت‌های مولکولی به مواد، صدمه به گیاهان و حیوانات گردد که به‌علت افزایش عبور ماوراءبنفش رخ می‌دهند (Bare et al., 2003). سرعت تشکیل ازن در لایه تروپوسفر به‌وسیله واکنش‌های پیچیده شیمیایی تعیین می‌شود که تحت تأثیر غلظت NOx، ترکیبات آلی فرار و همچنین دما، نور خورشید و جریان‌های همرفت قرار دارد. یافته‌های اخیر نشان می‌دهد که منواکسیدکربن و متان نیز در تشکیل ازن مؤثر هستند (Bare et al., 2003). تشکیل ازن باعث تغییر در ترکیب گونه‌ای بوم‌نظام‌ها شده و میزان تولید زیست‌توده را افزایش می‌دهد. این خود سبب زنجیره‌ای از پیامدهای زیان‌بار شامل کاهش تنوع زیستی و تولید ترکیبات شیمیایی سمی برای انسان، دام و سایر پستانداران می‌شود (Bare et al., 2003). همچنین، دیگر محققان، مقدار این آب‌شویی را در سوئیس ۰/۵۹ کیلوگرم نیتروژن به‌ازای هر تن چغندرقند گزارش کردند (Nemecek & Kagi, 2007). دیگر محققان شاخص طبقه‌بندی یوتریفیکاسیون برای تولید کلزا و آفتابگردان در شیلی را به‌ترتیب ۷/۲ و ۹ کیلوگرم معادل PO_4 گزارش کردند (Iriarte et al., 2010). در شیلی نیز شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدیته برای تولید کلزا و آفتابگردان به‌ترتیب ۱۹ و ۲۳ کیلوگرم معادل SO_2 محاسبه شد (Iriarte et al., 2010). باران اسیدی در برخی نقاط جهان باعث مسمومیت و صدمه به گیاهان، درختان، آبزیان و افزایش اسیدیته خاک می‌شود (Dastan et al., 2016 a; 2017). از منابع عمده این اثر در کشاورزی استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنه و در نتیجه، انتشار NOx و NH_3 به اتمسفر است (Dastan et al., 2016 a; 2017). از آنجا که در تولید محصولات کشاورزی نهاده‌های زیادی مصرف می‌شود در نتیجه، سامانه تولید اثرات زیست‌محیطی گسترده‌ای را ایجاد می‌کند (Brentrup et al., 2004 a). در مطالعه دیگر در آلمان گزارش شد برای تولید یک تن گندم اسیدیته و گرمایش جهانی از اثرات عمده محیطی بوده‌اند (Brentrup et al., 2004 b). برای محصول گندم تخلیه انرژی با شاخص نهایی ۰/۱۴ و اسیدیته با ۰/۱۳ مهم‌ترین شاخص زیست‌محیطی بودند (Wang et al., 2009). برای تولید آفتابگردان و کلزا بالاترین تأثیر زیست‌محیطی برای گرمایش جهانی و یوتریفیکاسیون گزارش شد (Iriarte et al., 2010). پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی (مه‌دود) عمدتاً ناشی از تشکیل ازن در سطح زمین است که تحت اثر واکنش‌های بین اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار در نور خورشید قرار دارد (Bare et al., 2011).

نتیجه‌گیری

طبق یافته‌های می‌توان بیان کرد میانگین مقادیر شاخص‌های رده‌اثر متعلق به تقاضای انرژی تجمعی، تقاضای اکسرژی تجمعی، پروتکل گازهای گلخانه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی طی دوره ۱۰۰ ساله، ردپای بوم‌شناختی و ردپای آب در کشت دیم به‌میزان قابل توجهی بالاتر از کشت آبی بود. علاوه‌براین، شاخص‌های رده‌اثر متعلق به مدل CML-IA non-baseline مثل تخلیه غیرزنده، رقابت زمین، گرمایش جهانی طی دوره ۵۰۰ ساله، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان، بدبو شدن هوا، تخلیه لایه ازون دوره ۴۰ ساله، مسمومیت انسان در دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت زیستی گونه‌های آبزی در آب‌های شیرین طی دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت ناشی از رسوبات در دریا و آب‌های شیرین در دوره ۱۰۰ ساله و مسمومیت زیستی زمین در دوره ۱۰۰ ساله در کشت دیم به‌طور قابل توجه و بسیار بالایی بیشتر از کشت آبی بود. همچنین، شاخص‌های رده‌اثر فلزات سنگین منتشر شده در هوا (سرب، کادمیم، روی و جیوه)، فلزات سنگین انتشار یافته در آب (کروم، روی، مس، کادمیم، جیوه، سرب و نیکل)، انتشار نیترات، فلزات و آفت‌کش‌ها به خاک، انتشار NOx، SOx، آمونیاک، گرد و غبار، COD، فسفر و پتاسیم در روش کشت دیم بسیار بالاتر از کشت آبی بود. طبق یافته‌ها، تمامی ورودی‌ها به مزرعه (بذر، سوخت، نیروی برق، ادوات و ماشین‌آلات، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آفت‌کش‌ها) و خروجی (عملکرد دانه) بر تقاضای انرژی تجمعی اثرگذار بودند.

در روش کاشت آبی، با افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ انتشار تمامی آلاینده‌های مدل‌های مورد بررسی روند کاهشی را نشان دادند، ولی در کشت دیم روند متغیر برای انتشار فلزات سنگین به هوا بر اساس اندازه زمین مشاهده شد که بیشترین مقدار متعلق به مزارع خیلی کوچک بود. متغیر بودن مقدار این شاخص‌ها بر اساس اندازه مزرعه در کشت دیم می‌تواند به‌دلیل تغییرات کمتر مقدار خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها در مزارع خیلی کوچک تا خیلی بزرگ باشد. این نتایج نشان می‌دهد که سهم آلاینده‌ها در کشت آبی در مقایسه با کشت دیم در منطقه بوشهر کمتر است.

سپاسگزاری

این مقاله بر گرفته از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه پیام‌نور استان بوشهر با شماره ۱۴۲۵۳۶۵ است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

Bare, J., 2011. TRACI 2.0: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental. Clean Technologies and Environmental Policy pp. 1-10.

Bare, J.C., Norris, N.A., Pennington, D.W., and McKone, T., 2003. TRACI: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts. Journal of Industrial Ecology 6: 49-78.

Brentrup, F., Kusters, J., Kuhlmann, H., and Lammel, J., 2004 a. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored a crop production. European Journal of Agronomy 20(3): 247-264.

Brentrup, F., Kusters, J., Lammel, J., Barraclough, P., and Kuhlmann, H., 2004 b. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology: II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. European Journal of Agronomy 20(3): 265-279.

Bosch, M.E., Hellweng, S., Huijbregts, M.A., and Frischknecht, R., 2007. Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database. The International Journal of Life Cycle Assessment 12(3): 181-190.

Charles, R., Jolliet, O., Gaillard, G., and Pellet, D., 2006. Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. Agriculture, Ecosystems and Environment 113(1/4): 216-225.

Chauhan, N.S., Mohapatra, P.K.J., and Pandey, K.P., 2006. Improving energy productivity in paddy production through benchmarking: an application of data envelopment analysis. Energy Conversion and Management 47: 1063-1085.

Clements, D.R., Weise, S.F., Brown, R., Stonehouse, D.P., Hume, D.J., and Swanton, C.J., 2005. Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management-systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 52: 119-128.

Dastan S., Soltani, A., Noormohamadi, G., and Madani, H., 2015 a. CO_2 emission and global warming potential (GWP)

of energy consumption in paddy field production systems. Journal of Agroecology 6(4): 823-835. (In Persian with English Summary)

Dastan, S., 2012. Evaluation on agronomic and ecophysiological indices of lowland rice genotypes in modified agronomical systems. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran College of Agriculture and Natural Resources. 278 pp. (In Persian with English Summary)

Dastan, S., Soltani, A., and Alimagham, S.M., 2018. Documenting the process of local rice varieties production in two conventional and semi-mechanized planting methods in Mazandaran province. Cereal Research 7(4): 485-502. (In Persian with English Summary)

Dastan, S., Soltani, A., Noormohamadi, G., and Madani, H., 2016 b. Estimation of the carbon footprint and global warming potential in rice production systems. Journal of Environmental Sciences 14(1): 19-22. (In Persian with English Summary)

Dastan, S., Ghareyazie, B., Soltani, A., and Omidi, M., 2016 a. The life cycle assessment (LCA) of rice in conventional, intensive and conservation systems. 2nd International and 14th National Iranian Crop Science Congress. Aug. 30-Sep. 1. University of Guilan, Rasht, Iran. (In Persian with English Summary)

Dastan, S., Ghareyazie, B., Mortazavi, E., Mohsenpour, M., and Abdollahi, S., 2017. The environmental life cycle assessment (LCA) of transgenic and non-transgenic rice cultivars. 2nd International and 10th National Biotechnology Congress of Islamic Republic of Iran. Aug. 29-31. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. (In Persian with English Summary)

Dastan, S., Noormohamadi, G., Madani, H., and Soltani, A., 2015 b. Analysis of energy indices in rice production systems in the Neka region. Journal of Environmental Sciences 13(1): 53-66. (In Persian with English Summary)

Engstrom, R., Wadeskog, A., and Finnveden, G., 2009. Environmental assessment of Swedish agriculture. Ecological Economics 60: 550-563.

Esmailpour, B., Khorramdel, S., and Amin Ghafouri, A., 2015. Study of environmental impacts for potato agroecosystems of Iran by using life cycle assessment (LCA) methodology. Journal of Crop Production 8(3): 199-224. (In Persian with English Summary)

Iriarte, A., Rieradevall, J., and Gabarrell, H., 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean condition. Journal of Cleaner Production 18: 336-345.

Khoramdel, S., Shabahang, J., and Ghafouri, A., 2017. Evaluation of environmental impacts for rice agroecosystems using life cycle assessment (LCA). Iranian Journal of Applied Ecology 5(18):1-14. (In Persian with English Summary)

Khorramdel, S., Ghorbani, R., and Amin Ghafori, A., 2015. Comparison of environmental impacts for dryland and irrigated barley agroecosystems by using life cycle assessment (LCA) methodology. Journal of Plant Production Research 22(1): 243-264. (In Persian with English Summary)

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Ghafori, A., 2014. Evaluation of environmental impacts for wheat agroecosystems of Iran by using LCA methodology. Cereal Research 4(1): 27-44. (In Persian with English Summary)

Koga, N. 2008. An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet. Agriculture, Ecosystems and Environment 125: 101-110.

Meisterling, K., Samaras, C., and Schweizer, V., 2009. Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. Journal of Cleaner Production 17: 222-230.

Mirhaji, H., Khojastehpour, M., and Abbaspour-Fard, M.H., 2013. Environmental impact study of wheat productionin in Marvdasht Area of Iran. Journal of Natural Environment 66(2): 223-232.

Mitchell, T.D., 2003. Pattern scaling: An Examination of the accuracy of the technique for describing future climates. Climatic Change 60: 217-242.

Mollafilabi, A., Khorramdel, S., Aminghafori, A., and Hosseini, M., 2015. Evaluation of environmental impacts for saffron agroecosystems of khorasan based on nitrogen fertilizer by using lice cycle assessment (LCA). Journal of Saffron Research 2(2): 152-166. (In Persian with English Summary)

Nemecek, T., and Kagi, T., 2007. Life cycle inventories of Swiss and European agricultural production systems. Final Report Eco Invent V2.0 NO. 15a. Agroscope Reckenholz- Taenikon Research Station ARTM, Swiss centre for life cycle inventories, Zurich and Dubendorf, CH.

Nikkhah, A., Firouzi, S., Payman, S.H., and Khorramdel, S., 2016. Life cycle assessment of urea fertilizer consumption

in Iran. Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources) 69(3): 853-864. (In Persian with English Summary)

Nikkhah, A., Khortamdel, S., Abedi, M., Firouzi, S., and Hamzeh Kalkenari, H., 2017. Study of Environmental impacts for tea production system in Chaboksar region of Guilan province through life cycle assessment. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 27(1): 181-195. (In Persian with English Summary)

Pathak, H., and 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.

Pervanchon, F., Bockstaller, C., and Girardin, P., 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. Agricultural Systems 72: 149-172.

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W., Suh, S., Weidema, B.P., and Pennington, D.W., 2004. Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environment International 30: 701-720.

Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., and Shiina, T., 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. Journal of Food Engineering 90: 1-10.

SimaPro., 2011. Software and Database Manual. Pré Consultants BV, Amersfoort, the Netherlands.

Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., and Soltani, E., 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. Energy 50: 54-61.

Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggard, K., 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production in the UK. Agricultural Systems 85: 101-119.

Wang, M., Wu, W., Liu, W., and Bao, Y., 2009. Life cycle assessment of the winter wheat-summer maize production system on the North China Plain. International Journal of Susttainable Development and World Ecology 14(4): 400-407.

Wood, S., and Cowie, A., 2004. A review of greenhouse gas emission factors for fertilizer production. Research and Development Division, State Forests of New South Wales. Cooperative research center for greenhouse accounting. The original study was: T.O. West and G. Marland. A synthesis of carbon sequestration, Carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States. Agriculture, Ecosystems and Environment 91(1-3): 217-232.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.1, Spring 2021, p. 135-155

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۵۵-۱۳۵

Comparsion of Ecological Footprint, Water Footprint and Environmental Impacts of Irrigated and Rainfed Wheat Production Systems based on Farm Size (Case Study: Boushehr Region)

M. Siavoshi[1]* and S. Dastan[2]
Submitted: 25-10-2018
Accepted: 24-11-2019

Siavoshi, M., and Dastan, S., 2021. Comparsion of ecological footprint, water footprint and environmental impacts of irrigated and rainfed wheat production systems based on farm size (Case study: Boushehr region). Journal of Agroecology 13(1):135-155.

Introduction
Nowadays, agriculture plays a major role in environmental pollution, and knowledge regarding reducing input utilization in such systems can help us to decrease the limited input resource consumption and the consequent greenhouse gas (GHGs) emissions and environmental impacts. Environmental assessment is one of the accepted ways for achieving sustainable agricultural goals. Hence, life cycle assessment (LCA) is an appropriate way to study the environmental impact of a crop plant producing in its whole life cycle in production systems. Moreover, life cycle assessment (LCA) is an appropriate method for studying the environmental impacts of a crop product throughout its life cycle in production systems. Therefore, this research was carried out with the aim of evaluating the life cycle of irrigated and rainfed wheat productions based on the farm size in Bushehr region in 2016-17.

Material and Methods
To conduct research, at first, 200 wheat fields were identified which 100 farms belonging to rainfed cultivation in the Genaveh region and 100 farms belonging to irrigated cultivation in the Dashty region were monitored. After data recording, farms in each method were classified into five groups in terms of size level, including very small (<2 ha^{-1}), small (2-5 ha^{-1}), medium (5-10 ha^{-1}), large (10-15 ha^{-1}) and very large (>15 ha^{-1}). For each impact category, correspond characterization factors were used based on cumulative energy demand (CED), cumulative exergy demand (CexD), greenhouse gas protocol (GGP), IPCC 2013 GWP 100a, ecological footprint (EF), and water footprint (WF) methods in SimaPro8.2.3 software.

Results and Discussion
The findings of this study demonstrated that all impact category of cumulative energy demand (CED), cumulative exergy demand (CexD), greenhouse gas protocol (GGP), IPCC 2013 GWP 100a, ecological footprint (EF), and water footprint (WF) in rainfed cultivation were significantly higher than irrigated cultivation. In addition, the impact category indices associated with the CML-IA non-baseline model, such as global warming 500a, acidification, eutrophication, ionizing radiation, malodorous air, ozone layer depletion 40a, human toxicity 100a, freshwater and marine aquatic ecotoxicity 100a in rainfed cultivation, were significantly higher than irrigated cultivation. Moreover, impact category of heavy metals emitted into the air (Pb, Cd, Zn, and Hg), heavy metals emitted into water (Cr, Zn, Cu, Cd, Hg, Pb, and Ni), nitrate into soil, metals into soil, pesticide into the soil, and emission of NOx, SOx, NH_3, dust, COD, phosphorous and nitrogen in the rainfed method was much higher than irrigated cultivation. In irrigated planting method, with increasing farm size from very small to very large, all of the pollutants revealed a decreasing trend, but it was varied in rainfed cultivation, with the largest amount belonging to very small farms. According to the results, it is possible to improve productivity by reducing nitrogen and fuel consumption as well as mechanization of agricultural crops. Based on the findings, it can be argued that farmers in both systems consider economic efficiency in production and are less likely to pay attention to environmental sustainability. It seems that by reducing the government subsidies related to

1- Asistant Professor, Department of Agricultural Science, Payame Noor University, I.R. of Iran.
2- Postdoctoral researcher, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Iran.
(*Corresponding author: morteza_siavoshi@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v13i1.76210

chemical inputs and promoting conservation planting systems, the gap created could be offset to increase economic and environmental productivity in wheat cultivation in the region.

Conclusion

The variability of these indicators based on farm size level in rainfed cultivation can be due to lower variation in output (yield) and all inputs from very small to very large fields. Therefore, these results show that the share of pollutants in irrigated cultivation is lower than in rainfed cultivation in the Bushehr region. This issue is of great importance from the ecological point of view because the source of non-renewable energies, which are mostly fossil fuels, and the reliance on these resources in the future, is fraught with great risks.

Keywords: Cumulative exergy demand, Ecological footprint, Eutrophication, Global warming