نشریه پژوهش‌های زعفران ۲(۱۳۹۳) ۱۶۶-۱۵۲.

بررسی اثرات زیست محیطی نظام تولید زعفران در استان خراسان بر مبنای کود نیتروژن با استفاده از ارزیابی چرخه حیات

عبدالله ملافیلابی [۱*]، سرور خرم دل [۲]، افسانه امین غفوری [۳] و محمد حسینی [۴]

۱- استادیار گروه کشاورزی و منابع طبیعی، واحد تربت جام، دانشگاه آزاد اسلامی، تربت جام

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد مدعو دانشگاه پیام نور قوچان، خراسان رضوی

۴- محقق پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد

*- نویسنده مسئول: E-mail: dr_filabi@yahoo.com

ملافیلابی، ع.، خرم‌دل، س.، امین غفوری، ا.، و حسینی، م.، ۱۳۹۳. بررسی اثرات زیست محیطی نظام تولید زعفران در استان خراسان بر مبنای کود نیتروژن با استفاده از ارزیابی چرخه حیات. نشریه پژوهش‌های زعفران. ۲(۲): ۱۶۶-۱۵۲.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۵

چکیده

ارزیابی چرخه حیات (LCA) روشی برای ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید محصول است که به وسیله محاسبه و ارزیابی مصرف منابع و انتشار آلاینده‌ها به محیط زیست تعیین می‌شود. به منظور ارزیابی بوم‌نظام‌های تولید زعفران در استان خراسان بر اساس میزان مصرف کود نیتروژن با استفاده از LCA، میانگین وزن بنه مصرفی طی سال‌های ۹۲-۱۳۷۸ و میزان مصرف نهاده‌ها به ازای یک هکتار تعیین شد. LCA بر اساس روش ارائه شده در ایزو ۱۴۰۴۴ در چهار گام تعریف اهداف و حوزه عمل مطالعه، ممیزی چرخه حیات، ارزیابی تأثیر چرخه حیات و تلفیق و تفسیر نتایج محاسبه گردید. اسیدی شدن، اوتریفیکاسیون در محیط‌های خشکی و آبی و گرمایش جهانی به عنوان سه گروه تأثیر مهم مدنظر قرار گرفتند. واحد کارکردی نظام‌های تولید زعفران معادل یک تن بنه در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش مصرف کود نیتروژن از ۲۰۰ به بیش از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، پتانسیل اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون در محیط‌های آبی و خشکی به ترتیب ۳۷، ۳۶ و ۳۷ درصد افزایش یافت. بالاترین پتانسیل گرمایش جهانی با ۱۱۲۸/۱۷ واحد معادل دی‌اکسید کربن به ازای یک تن بنه مربوط به سطح کودی بیش از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. بالاترین شاخص زیست محیطی نظام زعفران در گروه‌های تأثیر اوتریفیکاسیون در محیط آبی و گرمایش جهانی برای سطح کودی بیش از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب برابر با ۰/۶۲ واحد معادل PO_4 به ازای یک تن بنه و ۰/۱۲ واحد معادل دی‌اکسید کربن به ازای یک تن بنه حاصل گردید. بنابراین، می‌توان بهره‌گیری از اصول ارگانیک نظیر کاهش خاکورزی و مصرف کودهای آلی را به عنوان راهکارهایی پایدار در مدیریت مزارع زعفران مدنظر قرار داد.

واژه‌های کلیدی: اثرات زیست محیطی، انتشار آلاینده‌ها، اوتریفیکاسیون آبی، گرمایش جهانی

مقدمه

تجزیه و تحلیل انرژی در کشاورزی نقش قابل توجهی در توسعه دیدگاه انسان نسبت به بوم‌نظام‌های زراعی داشته و موجب ارتقاء کیفی تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مدیریت و توسعه بخش کشاورزی می‌شود (Rathke & Diepenbrock, 2006). بر این اساس، بیشترین انرژی غیرمستقیم در درجه اول مربوط به کود نیتروژنه (۳۰-۲۰ درصد از کل انرژی) و در درجه دوم ماشین آلات (۱۲-۶ درصد از کل انرژی ورودی) می‌باشد (Marini et al., 2002; Pimentel & Burgess, 1980). با این‌وجود، رحیم‌زاده و همکاران (Rahimizadeh et al., 2007) اظهار داشتند که تجزیه و تحلیل انرژی نمی‌تواند درک کاملی از بوم‌نظام‌های کشاورزی ارایه نماید و با توسعه دیدگاه انسان نسبت به بوم‌نظام‌های زراعی می‌تواند در بهبود کیفی تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های توسعه مؤثر باشد.

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کشاورزی، تنوّع گسترده‌ای را از نظر اهداف و مفاهیم نشان می‌دهد. اکرت و همکاران (Eckert et al., 1999) بیان داشتند که بررسی عملکرد زیست محیطی نظام‌های تولید امری مهم و ضروری برای بررسی وضعیت نظام-ها از نظر پایداری می‌باشد. از آنجا که این رهیافت‌ها عملکرد زیست محیطی نظام‌های مختلف تولیدی را نیز با یکدیگر مقایسه می‌کند، می‌توان نظام‌های متناسب از نظر کاهش آلودگی و مصرف بهینه منابع را معرفی کرد و از این طریق نیز منجر به بهبود شرایط زیست محیطی شد. تعداد زیادی از محققان (Brentrup et al., 2001; Brentrup et al., 2004a; Brentrup et al., 2004b; Finkbeiner et al., 2006; Roy et al., 2009) تأکید می‌کنند که با توجه به دامنهٔ کارکردهای ارزیابی چرخه حیات (LCA)[1]، این روش مناسب‌ترین رویکرد برای ارزیابی پایداری فعّالیّت‌های مختلف کشاورزی می‌باشد.

LCA به عنوان یک فرآیند هدف، برای ارزیابی ظرفیت محیط زیست در امر تولید، فرآیندها یا جریان فعّالیّت‌ها با مشخص کردن میزان انرژی و مواد مصرفی و ضایعات رها شده در محیط زیست می‌باشد که برای ارزیابی شرایط به منظور حفظ باروری محیط زیست، تعریف می‌شود (Roy et al., 2009). در این رویکرد، کلیه اثرات زیست محیطی مرتبط با نظام تولیدی در گروه‌های تأثیر مؤثر بر آن در نظر گرفته می‌شود (Nemecek et al., 2001). برنتراپ و همکاران (Brentrup et al., 2004a) بیان داشتند که ارزیابی پایداری نظام‌های تولیدی امری ضروری می‌باشد. با توجه به کارکردهای LCA، محققان بهره‌گیری از این رویکرد را رهیافتی مناسب برای این زمینه توصیه کرده‌اند.

مفهوم پایه‌ای ارزیابی چرخهٔ حیات برای ترکیب تعداد معدودی از شاخص‌ها، میزان انتشار آلاینده‌ها و مصرف منابع است (Brentrup et al., 2004a; Brentrup et al., 2004b). کنسلی و همکاران (Consoli et al., 1993) معتقدند که ارزیابی چرخهٔ حیات، با بررسی اثرات زیست محیطی بهترین نظام تولیدی را معرفی می‌کند. میسترلینگ و همکاران (Meisterling et al., 2009) با محاسبه LCA برای نظام‌های تولید ارگانیک و رایج گندم در آمریکا نشان دادند که تولید یک کیلوگرم گندم در نظام ارگانیک، ۳۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن کمتر نسبت به نظام رایج تولید کرد. برنتراپ و همکاران (Brentrup et al., 2004b) گزارش نمودند که شاخص نهایی LCA در نظام گندم زمستانه در آلمان، در شرایط مصرف کمتر از ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در حدود ۰/۲۲ تا ۰/۲۶ به ازای هر تن دانه بود و با افزایش مصرف نیتروژن از ۲۰۰ تا ۳۹۰ کیلوگرم در هکتار، LCA افزایش یافت. آنها همچنین بیان داشتند که در سطوح پایین مصرف کود، تغییر کاربری اراضی و در سطوح بالای مصرف، اوتریفیکاسیون مهمترین گروه‌های تأثیر بودند. مونتی و همکاران (Monti et al., 2009) با محاسبه LCA نشان دادند که با جایگزین کردن گیاهان چندساله می‌توان اثرات زیست محیطی ناشی از انتشار CO_2 و آبشویی نیترات را تا بیش از ۵۰ درصد کاهش داد. برنتراپ و همکاران (Brentrup et al., 2001) بر این باورند که محاسبه LCA حتی می‌تواند مشکلات فرآیندهای نظام تولیدی از قبیل مصرف منابع و تغییر کاربری اراضی را نیز مشخص و تا حدودی مرتفع نماید.

در ایران نتایج منتشر شده زیادی در خصوص اجرای LCA در مورد محصولات کشاورزی در کشور وجود ندارد. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2014) با بررسی اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید آبی و دیم گندم در کشور با استفاده از ارزیابی چرخه حیات بیان داشتند که بیشترین و کمترین اثرات زیست محیطی در بوم‌نظام تولید گندم آبی به ترتیب برای گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی و اوتریفیکاسیون بوم‌نظام آبی

1- Life cycle assessment

بدست آمد؛ در حالی‌که در نظام تولید گندم دیم این گروه‌های تأثیر مربوط به اوتریفیکاسیون آبی و اسیدی شدن بود. این محققان دامنه شاخص زیست محیطی نظام‌های تولید گندم آبی و دیم به ترتیب ۰/۵۵-۰/۴۷ و ۰/۴۳-۰/۳۴ به ازای یک تن دانه برآورد نمودند. خرم‌دل (Khorramdel, 2012) با ارزیابی چرخهٔ حیات دریافت که بیشترین سهم نظام تولیدی ذرت دانه‌ای برای گروه مؤثر اسیدی شدن (۲/۵۹) و تغییر اقلیم (۰/۶۱) حاصل شد. میرحاجی و همکاران (Mirhaji et al., 2012) با ارزیابی چرخه حیات برای ارزیابی اثرات زیست محیطی چغندرقند بیان داشتند که اثر تخلیه منابع آبی بیشتر از سایر اثرات به محیط زیست آسیب می‌رساند. فلاح‌پور و همکاران (Fallahpour et al., 2012) با ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید غلات در استان خراسان با استفاده از LCA دریافتند که با افزایش مصرف نیتروژن، این اثرات زیست محیطی نیز افزایش یافت. مجموعه نتایج فوق به وضوح نشان می‌دهد که با محاسبه LCA می‌توان اطلاعات بسیار مفیدی را در مورد اثرات زیست محیطی نظام‌های مختلف تولیدی بدست آورد.

زعفران با نام علمی *Crocus sativus* L. از خانواده زنبقیان می‌باشد و در منطقه آب و هوایی مدیترانه و غرب آسیا از عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۵۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۱۰ درجه غربی تا ۸۰ درجه شرقی، در مناطق بسیار کم باران که دارای زمستان سرد و تابستان گرم هستند، گسترش دارد. زعفران به عنوان گران‌ترین محصول کشاورزی و دارویی جهان جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی به خود اختصاص داده است. در حال حاضر، ایران بزرگترین تولیدکننده و صادرکننده این محصول ارزشمند در جهان محسوب می‌شود و بیش از ۹۵ درصد تولید جهانی این محصول به کشور اختصاص دارد (Kafi et al., 2002). زعفران‌کاری از جنبه‌های گوناگون نظیر بهره‌وری بالای آب در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی، اشتغال روستاییان و جلوگیری از مهاجرت آنها، درآمدزایی و همچنین توسعه صادرات غیرنفتی نیز قابل بررسی است (Sabzevari, 1995). مؤیدی شهرکی و همکاران (Moayedi Shahraki et al., 2010) با بررسی کارایی انرژی زعفران در استان خراسان جنوبی اظهار داشتند که بیشترین میزان انرژی مصرفی در سال اول مربوط به مصرف کود دامی و در سال دوم تا پنجم مربوط به مصرف کود اوره بود. این محققان نسبت انرژی تولیدی به مصرفی زعفران را ۰/۴۱ محاسبه نمودند.

با توجه به اهمیت ارزیابی وضعیت زیست محیطی نظام‌های تولید زعفران و از آنجا که تا کنون نتایج منتشر شده‌ای در این ارتباط در کشور وجود ندارد، هدف از این تحقیق، محاسبه LCA برای بوم نظام‌های تولید زعفران در استان خراسان بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید زعفران در استان خراسان بزرگ (شکل ۱) بر مبنای میزان مصرف کود نیتروژن، میانگین نهاده‌های مصرفی طی سال‌های ۹۲-۱۳۷۸ با استفاده از اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، مراجعه حضوری به سازمان‌های زیربط و همچنین با استفاده از پرسشنامه (حاوی کلیه نهاده‌های آلی و شیمیایی و عملیات مختلف کاشت، داشت و برداشت طی تولید زعفران) از کشاورزان زعفران‌کار در استان خراسان جمع‌آوری و تعیین شد. میانگین میزان مصرف نهاده‌ها به ازای یک تن بنه زعفران در جدول ۱ نشان داه شده است.

الف- تعریف اهداف و حوزه عمل مطالعه[1]: در این مرحله، هدف از اجرای LCA بررسی اثرات زیست محیطی بوم‌نظام‌های تولید زعفران در استان خراسان بزرگ و مقایسه این اثرات بر اساس میزان مصرف نهاده‌ها بود. «واحد کارکردی[2]» یا به عبارت دیگر، واحد مبنا که نشان‌دهنده معیار کمی کارکرد بوم نظام می‌باشد (Brentrup et al., 2004a)، معادل یک تن بنه در نظر گرفته شد.

ب- ممیزی چرخه حیات[3]: در این مرحله نهاده‌ها، پسماندها و آلاینده‌های انتشار یافته ناشی از کارکرد بوم‌نظام تولید زعفران تعیین و بر حسب واحد کارکردی محاسبه شدند (Brentrup et al., 2001). داده‌های مربوط به مصرف نهاده‌ها در بوم‌نظام‌های تولید زعفران از طریق پرسشنامه (حاوی اطلاعاتی در خصوص عملکرد، وزن بنه مادری مورد استفاده در هنگام کاشت، نهاده-های مورد استفاده اعم از کودها و سموم شیمیایی، کودهای آلی،

1- Objectives and definition of scope
2- Functional unit (FU)
3- Life cycle inventory (LCI)

شکل ۱- مشخصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- Geographic characteristics of the study area.

جدول ۱- میزان نهاده‌های مصرفی در نظام تولید زعفران به ازای یک هکتار

Table 1- Input contributions in saffron production systems as one hectare

وزن بنه (کیلوگرم در هکتار)	فسفات (کیلوگرم در هکتار)	کود دامی (کیلوگرم در هکتار)	سوخت (لیتر در هکتار)
Corm weight ($kg.ha^{-1}$)	**Phosphate ($kg.ha^{-1}$)**	**Manure ($kg.ha^{-1}$)**	**Fuel ($l.ha^{-1}$)**
3660.8	176	44000	4380.2

تعداد و نوع ماشین آلات مورد استفاده برای عملیات خاکورزی و سوخت مورد استفاده طی عملیات مختلف کاشت، داشت و برداشت) از کشاورزان زعفران‌کار، مراجعه به سازمان‌های ذیربط و بانک‌های اطلاعاتی وزارت جهاد کشاورزی استخراج شد. اثرات زیست محیطی بوم‌نظام‌های تحت بررسی که بر اساس دستور العمل ISO، این اثرات شامل انتشار مواد به اتمسفر، خاک و آب بودند (Finkbeiner et al., 2006)، بر اساس استانداردهای بین-المللی برآورد گردید.

ج- ارزیابی تأثیر چرخه حیات[1]: به منظور تجزیه و تحلیل کمی نتایج برای هر یک از گروه‌های تأثیر، ضریب تأثیر ویژه[2] تعریف شد. گروه‌های تأثیر در این مطالعه شامل سه گروه مهم پتانسیل اسیدی شدن، پتانسیل اوتریفیکاسیون و پتانسیل گرمایش جهانی بودند (Brentrup et al., 2004a; Finkbeiner et al., 2006):

پتانسیل اسیدی شدن: شاخص مربوط به این گروه بر اساس میزان ورود املاح یا ترکیبات معدنی به خاک برآورد و بر اساس SO_2 یکسان سازی گردید. قابل ذکر است که به منظور یکسان-سازی ضریب تأثیر NO_x برابر ۰/۲۸ و NH_3 برابر با ۱/۳۰ معادل SO_2 در نظر گرفته شد (Brentrup et al., 2004a; Biswas et al., 2010).

پتانسیل اوتریفیکاسیون: از آنجا که منبع تشدید اوتریفیکاسیون در اکوسیستم‌های خشکی ورود NH_3 و NO_x و برای اکوسیستم‌های آبی ورود ترکیبات نیتروژن و فسفر به آب-های سطحی می‌باشد، لذا این تأثیر برای اکوسیستم‌های خشکی و آبی بطور جداگانه برآورد گردید (Brentrup et al., 2004a; Brentrup et al., 2004b). بر این اساس، محاسبات مربوط به

1- Life Cycle Impact Assessment
2- Characteristic Factor (CF)

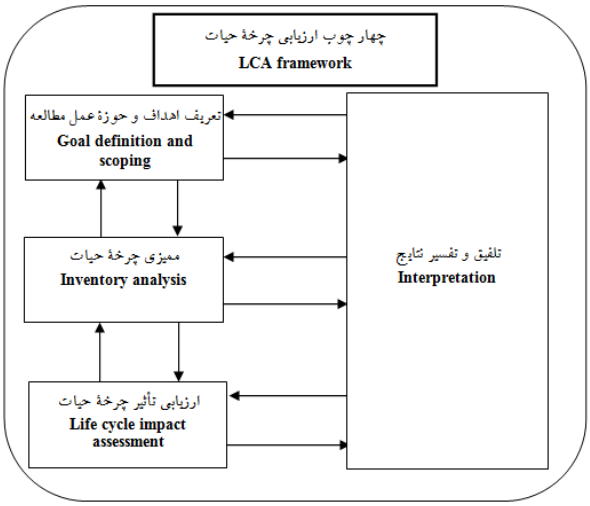
این گروه در دو زیرگروه بوم‌نظام آبی و خشکی محاسبه شد. در زیرگروه اول، ضرایب تأثیر NO_3، NO_x، NH_3، N و NO_3-N به ترتیب برابر با ۰/۱، ۰/۱۳، ۰/۳۵، ۰/۴۲ و ۰/۴۲ معادل P مدنظر قرار گرفت. در زیرگروه دوم، ضریب تأثیر NH_3 برابر با ۵ معادل NO_x در نظر گرفته شد (Brentrup et al., 2004a; Biswas et al., 2010).

پتانسیل گرمایش جهانی: این گروه تأثیر از طریق برآورد میزان تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای محاسبه و با شاخص توانایی بالقوه گرمایش جهانی[1] سنجیده شد. گازهای گلخانه‌ای اصلی در مطالعات کشاورزی شامل CO_2، CH_4 و N_2O می‌باشند که در محاسبات مربوط به این گروه همگی بر اساس معادل CO_2 سنجیده شدند. ضرایب تأثیر CH_4 و N_2O به ترتیب ۲۱ و ۳۱۰ معادل CO_2 در نظر گرفته شد (ISO, 2006).

به این ترتیب، برای محاسبات LCA ابتدا سه گروه فوق ممیزی شده و تأثیر کارکرد بوم‌نظام‌های تولید زعفران بر اساس میزان مصرف کود نیتروژن بر آنها بصورت کمی تعیین گردید. این سه گروه که بسته به ماهیت ممکن است منبع[2] یا عوامل انتشار یافته[3] از بوم‌نظام باشند در ضریب تأثیر مربوطه ضرب شدند و تأثیر آنها به ازای واحد کارکردی تعیین گردید. پس از محاسبه شاخص‌های هر گروه تأثیر، این شاخص‌ها بر اساس دستورالعمل ISO و با استفاده از ضرایب نرمال‌سازی و وزن‌دهی شدند (Guinée, 1996; Guinée, 2001) تا شدت تأثیر آنها بر حسب وزن هر گروه تأثیر در محاسبات لحاظ گردد (Brentrup et al., 2004a).

د- تلفیق و تفسیر نتایج[4]: در آخرین مرحله، شاخص زیست‌محیطی تحت عنوان شاخص بوم‌شناخت[5] محاسبه شد (Brentrup et al., 2004a).

در نهایت، اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید زعفران استان خراسان با استفاده از LCA در سطوح مصرف کود نیتروژن (۲۵۰-۳۰۰، ۳۰۰-۳۵۰ و >۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) بررسی شد. قابل ذکر است، محتوی نیتروژن کل (۰/۵ درصد) و فسفر قابل دسترس (۰/۰۷۴ درصد) کود دامی مورد استفاده نیز تعیین و داده‌های نهایی بر اساس میزان نیتروژن کل و فسفر قابل دسترس محاسبه شد. شکل‌ها با نرم‌افزار Sigma plot رسم شدند.



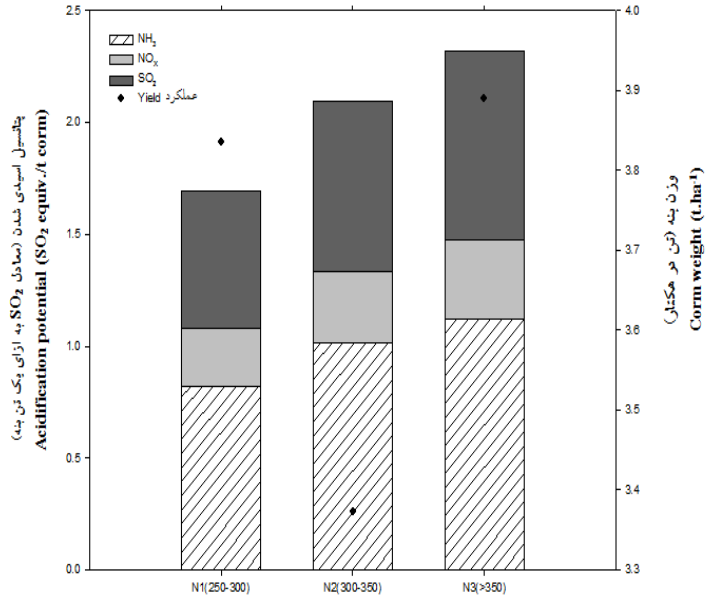
شکل ۲- چهارچوب ارزیابی چرخهٔ حیات (ISO 14040, 1997)

Fig. 2- Life cycle assessment framework (ISO 14040, 1997)

نتایج و بحث

با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن از ۲۰۰ به بیش از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، پتانسیل اسیدی شدن در نظام تولیدی زعفران ۳۷ درصد افزایش یافت؛ به طوری‌که بالاترین پتانسیل اسیدی شدن با ۲/۳۲ واحد معادل دی‌اکسید گوگرد به ازای یک تن بنه برای سطح کودی بیش از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد. همچنین بالاترین میزان انتشار NH_3 با ۱/۱۲ واحد معادل دی‌اکسید گوگرد به ازای یک تن بنه برای فشرده‌ترین نظام تولیدی (بالاترین میزان مصرف کود نیتروژن) محاسبه گردید (شکل ۳).

1- Global warming potential index (GWPI)
2- Resource (R)
3- Emission (E)
4- Integration and interpretation
5- Eco-index

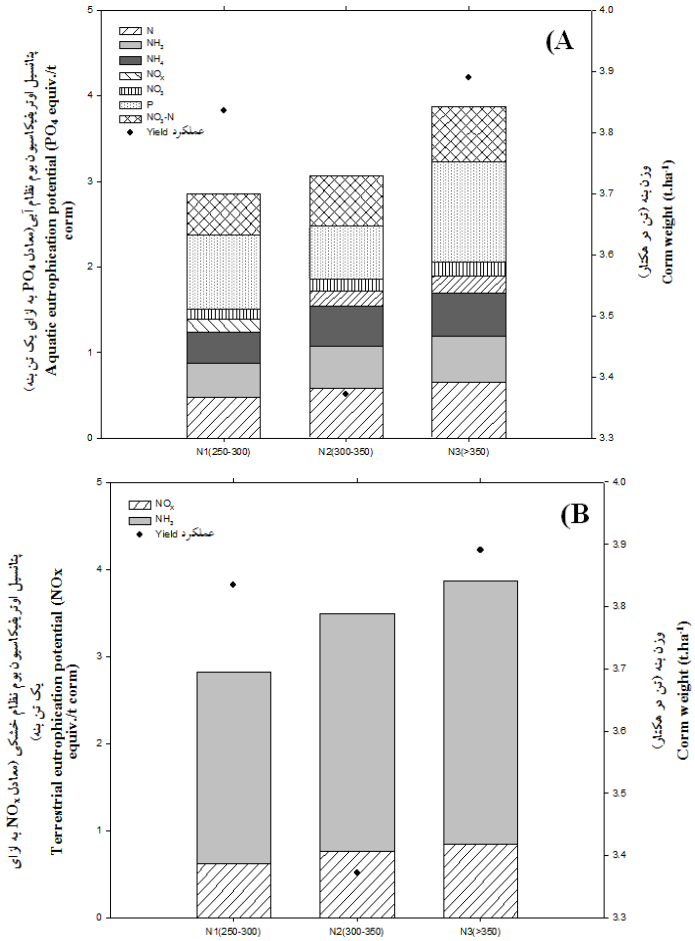


شکل ۳- پتانسیل اسیدی شدن یک واحد کارکردی نظام تولید زعفران در سطوح کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)

Fig. 3- Acidification potential for one functional unit of saffron at nitrogen levels (kg.ha^{-1})

افزایش بیش از حد مصرف کودهای نیتروژنه در مزارع تولید زعفران باعث افزایش انتشار آلاینده‌ها به محیط شد و پتانسیل اسیدی شدن را افزایش داد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است با افزایش میزان مصرف نیتروژن، انتشار آمونیاک به صورت خطی افزایش یافت. برخی محققان دلیل این انتشار را به تبخیر نیتروژن به فرم آمونیاک پس از کاربرد آن در بوم‌نظام‌های زراعی به ویژه در شرایط مصرف بالای کودهای نیتروژنه نسبت دادند (Fallahpour et al., 2012). هاس و همکاران (Haas et al., 2001) پتانسیل اسیدی شدن دامداری‌های گاو شیری تحت مدیریت گسترده و فشرده را به ترتیب ۱۱۹ و ۱۳۶ واحد معادل دی‌اکسید گوگرد به ازای یک هکتار گزارش نمودند و بیان داشتند که مرتع تحت مدیریت ارگانیک علاوه بر کاهش مصرف انرژی، پتانسیل گرمایش جهانی و اسیدی شدن کمتری نسبت به مرتع با مدیریت رایج داشت. آنها دلیل این امر را به اعمال مدیریت کم‌نهاده بر مبنای مصرف کودهای آلی و خاکورزی‌های حداقل نسبت دادند. بدین ترتیب، به نظر می‌رسد که از اعمال مدیریت کم‌نهاده و ارگانیک با تأکید بر کاهش کاربرد کودهای نیتروژنه شیمیایی و مصرف نهاده‌های آلی و جایگزین در مزارع زعفران می‌توان به عنوان راهکاری برای کاهش پتانسیل اسیدی شدن بهره جست.

افزایش مصرف کود نیتروژن از ۲۰۰ به بیش از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در بوم‌نظام‌های زعفران موجب افزایش پتانسیل اوتریفیکاسیون در محیط‌های آبی و خشکی به ترتیب برابر با ۳۶ و ۳۷ درصد شد. بیشترین پتانسیل اوتریفیکاسیون در محیط‌های آبی و خشکی برای سطح کودی بیش از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن به ترتیب برابر با ۳/۸۷ واحد معادل PO_4 به ازای یک تن بنه و ۳/۸۶ واحد معادل NO_x به ازای یک تن بنه مشاهده شد. بالاترین میزان انتشار فسفر در گروه تأثیر اوتریفیکاسیون در محیط آبی و بیشترین میزان انتشار NH_3 در گروه تأثیر اوتریفیکاسیون در محیط خشکی مربوط به بالاترین میزان مصرف کود نیتروژن به ترتیب برابر با ۱/۱۷ واحد معادل PO_4 به ازای یک تن بنه و ۳/۰۲ واحد معادل NO_x به ازای یک تن بنه بود (شکل ۴ الف و ب).



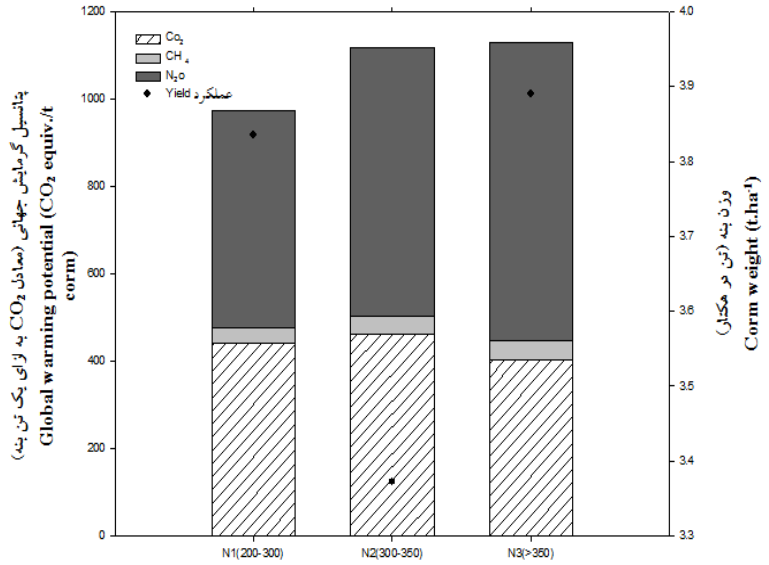
شکل ۴- پتانسیل اوتریفیکاسیون بوم‌نظام‌های (الف) آبی و (ب) خشکی یک واحد کارکردی نظام تولید زعفران در سطوح کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)

Fig. 4- Potential of (A) aquatic and (B) terrestrial eutriphication for one functional unit of saffron at nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$)

خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2014) با ارزیابی بوم-نظام‌های زراعی تولید آبی و دیم گندم کشور با استفاده از LCA اظهار داشتند که بالاترین پتانسیل اوتریفیکاسیون در محیط خشکی برای بوم‌نظام آبی برای مقدار نیتروژن بیشتر از ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار (۱/۱۱ واحد معادل NO_x به ازای یک تن دانه) و برای نظام دیم برای سطح بیش از ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۵/۰۵ واحد معادل NO_x به ازای یک تن دانه) بدست آمد. با در نظر گرفتن این مطلب که انتشار NO_x عمدتاً وابسته به نقل و انتقال و استفاده از ماشین‌آلات است (Brentrup et al., 2004b)، لذا میزان انتشار آن و در نتیجه پتانسیل اوتریفیکاسیون این گازها برای محیط خشکی به مراتب بالاتر از NH_3 بود. همچنین، از آنجا که جریان مستقیم فسفر و نیتروژن به آب‌های سطحی باعث بروز اوتریفیکاسیون و آلودگی‌های زیست محیطی می‌شود و دلیل عمده انتشار نیتروژن از خاک به بوم‌نظام‌های آبی از طریق آبشویی NO_3^- است (Brentrup et al., 2004a)، بایستی مصرف مناسب نهاده-های کودی و مدیریت مناسب عناصر غذایی را برای کاهش انتشار این عناصر به محیط زیست و همچنین بهبود کارایی مصرف عناصر به ویژه نیتروژن به دقت مدنظر قرار داد. برنتراپ و همکاران (Brentrup et al., 2004a) خاطر نشان ساختند که دلیل عمده انتشار نیترات به آب‌های زیرزمینی مربوط به مصرف بیش از حد اوره و مدیریت نامناسب زراعی است. رائو (Rao, 2000) تأکید کرد که بهترین راهکار کاهش خطرات زیست محیطی، بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی می باشد.

آللن و بریسون (Allen & Bryson, 2007) خاطر نشان ساختند که افزایش کارایی نیتروژن با انتخاب صحیح تناوب زراعی و کاهش مصرف نیتروژن، خطر آلودگی نیترات در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را به میزان زیادی کاهش داد.

بالاترین پتانسیل گرمایش جهانی در بوم‌نظام تولید زعفران با ۱۱۲۸/۱۷ واحد معادل دی‌اکسید کربن به ازای یک تن بنه مربوط به سطح کودی بیش از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. همچنین با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن از ۲۰۰ تا بیش از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار پتانسیل این گروه تأثیر ۱۶ درصد افزایش یافت. بیشترین میزان انتشار N_2O در گروه تأثیر گرمایش جهانی با ۶۷۹/۹۳ واحد معادل دی‌اکسید کربن به ازای یک تن بنه برای بالاترین سطح کودی نیتروژن محاسبه گردید (شکل ۵).



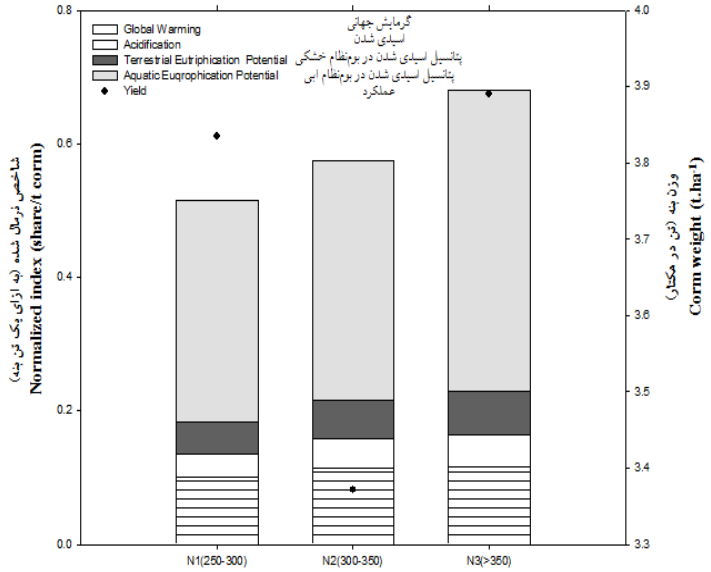
شکل ۵- پتانسیل گرمایش جهانی گازهای گلخانه‌ای یک واحد کارکردی نظام تولید زعفران در سطوح کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)

Fig. 5- Global warming potential for one functional unit of saffron at nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$)

علاوه بر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی، بررسی‌ها نشان داده است که غلظت N_2O در اتمسفر از ۲۷۵ به ۳۱۹ پی‌پی‌بی (قسمت در میلیارد) طی انقلاب صنعتی افزایش یافته که این افزایش علاوه بر تأثیر مستقیم بر بروز مشکلات زیست محیطی، موجب تخریب لایه ازن شده است. از طرف دیگر، اگرچه غلظت این گاز در اتمسفر نسبتاً کم می‌باشد، ولی پتانسیل گرمایشی آن ۳۱۰ برابر دی‌اکسید کربن است (Crutzen, 1981). پنجاه و نه درصد انتشار CO_2 مربوط به تولید کودهای شیمیایی نیتروژنه است (Brentrup et al., 2004b). دلیل عمده تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه CO_2 و N_2O از بوم‌نظام‌های زراعی مربوط به مصرف سوخت-های فسیلی و بکارگیری ماشین آلات مختلف برای عملیات زراعی و همچنین فرآیند تولید و مصرف کود نیتروژن است. بومن (Bouwman, 1990) دلیل عمده انتشار گازهای گلخانه‌ای از بوم‌نظام‌های زراعی را مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنه معرفی نمود. میودری و همکاران (Moudrý et al., 2013) بیان داشتند که انتشار N_2O از بوم‌نظام‌های رایج به طور معنی‌داری بالاتر از نظام ارگانیک بود. آنها دلیل عمده این انتشار را به مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه نسبت دادند. بارکر-رید و همکاران (Barker-Reid et al., 2005) انتشار سالانه گاز N_2O از مزارع تولید گندم دیم استرالیا را ۰/۲-۰/۲۷ kgN_2O-N/ha (۰/۰۶-۰/۱۱ درصد نیتروژن مصرفی) گزارش کردند. این محققان علت این موضوع را مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه و عملیات خاکورزی فشرده عنوان کردند.

بدین ترتیب، اگرچه با افزایش مصرف کود نیتروژن، وزن بنه مصرفی نیز افزایش یافت که این امر می‌تواند بهبود رشد و به دنبال آن عملکرد اقتصادی گیاه باارزش زعفران را به دنبال داشته باشد، ولی افزایش مصرف این کود، علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید، بروز آلودگی‌های زیست محیطی، انتشار CO_2 و سایر گازهای گلخانه‌ای به محیط نیز تشدید می‌شود. بارتون و همکاران (Barton et al., 2008) گزارش نمودند اگرچه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در بین نظام‌های مختلف گیاهی بسته به مدیریت، شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت بود، ولی نوع مدیریت تأثیر بسزایی بر انتشار این گازها دارد. انتشار N_2O به طور مستقیم وابسته به تولید و مصرف کودهای شیمیایی است (Brentrup et al., 2004a). فوت و پرتل (Fott & Pretel, 2003) اظهار داشتند که مصرف کودهای شیمیایی عمده‌ترین عامل انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر محسوب می‌شود. برنتراپ و همکاران (Brentrup et al., 2004b) دریافتند که میزان انتشار NH_3 وابسته به میزان مصرف کود نیتروژن است؛ به طوری‌که با افزایش مصرف نیتروژن، میزان انتشار این گاز به محیط نیز افزایش یافت. این محققان همچنین اظهار داشتند که پتانسیل آزادسازی NH_3 همبستگی قوی با مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه دارد. مصرف سوخت‌های فسیلی و اعمال خاکورزی‌های فشرده در بوم‌نظام‌های کشاورزی از دیگر عوامل اصلی انتشار CO_2 به اتمسفر محسوب می‌شوند (Moudrý et al., 2013). بنابراین، با توجه به سهم بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای توصیه می‌شود از راهکارهایی نظیر کاهش عملیات خاکورزی و مصرف کودهای آلی به عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی بهره‌گیری گردد (Braschkat et al., 2003). بیسواس و همکاران (Biswas et al., 2010) خاطر نشان ساختند با توجه به سهم ۱۵/۶ درصدی کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه‌ای، بایستی راهکارهای تخفیف اثرات این گاز در بوم‌نظام‌های زراعی مدنظر قرار گیرد. علاوه بر این، عمده‌ترین دلایل انتشار CH_4 در بوم‌نظام‌های زراعی ناشی از مصرف کودهای دامی و ایجاد شرایط غرقابی می‌باشد. البته بایستی به این مهم توجه کرد اگرچه غلظت CH_4 اتمسفر کمتر از CO_2 می‌باشد، ولی پتانسیل گرمایش جهانی آن ۲۱ برابر بیشتر از CO_2 است (FAO, 2003)، لذا بایستی از راهکارهای مختلف برای تخفیف اثرات این گاز گلخانه‌ای در بوم‌نظام‌های تولید زعفران استفاده شود. سهله و پوتینگ (Sahle & Potting, 2013) اظهار داشتند که مهمترین راهکار برای کاهش تخفیف اثرات زیست محیطی در راستای کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای، مدیریت عناصر غذایی و سموم شیمیایی است. شاماچر و ساتای (Schumacher & Sathaye, 1999) تأکید کردند که با بهره‌گیری از راهکارهای جایگزین نظیر مصرف کودهای آلی می‌توان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف کودهای شیمیایی را در بوم‌نظام‌های زراعی کاهش داد. مونتی و همکاران (Monti et al., 2009) اظهار داشتند که وارد کردن گیاهان چندساله و گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در تناوب عاملی عمده برای تخفیف غلظت دی‌اکسید کربن تحت تأثیر کاهش عملیات خاکورزی و مصرف کودهای شیمیایی محسوب می‌شود.

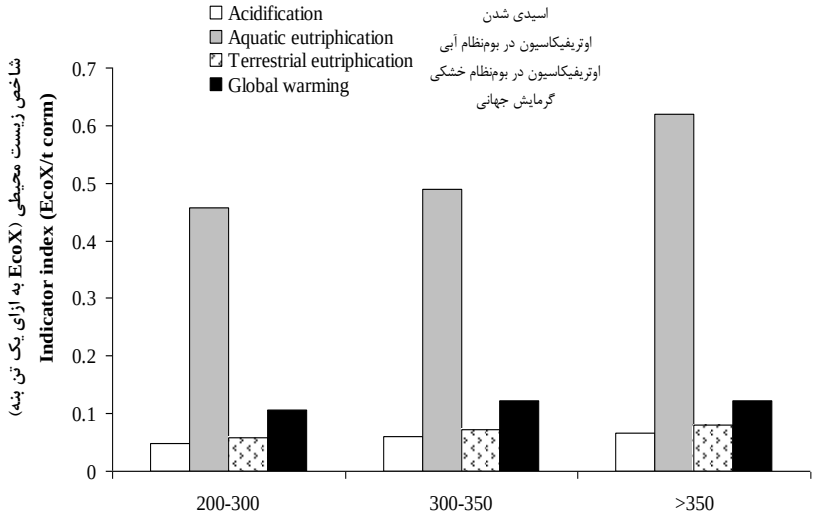
بیشترین مقادیر شاخص‌های نرمال شده گروه‌های تأثیر مورد مطالعه شامل اوتریفیکاسیون در محیط آبی، گرمایش جهانی، اوتریفیکاسیون در محیط خشکی و اسیدی شدن در نظام زعفران مربوط به سطح کودی بیش از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب با ۰/۴۵ واحد معادل PO_4 به ازای یک تن بنه، ۰/۱۲ واحد معادل دی‌اکسید کربن به ازای یک تن بنه، ۰/۰۶ واحد معادل دی‌اکسید گوگرد به ازای یک تن بنه و ۰/۰۵ واحد معادل NO_x به ازای یک تن بنه محاسبه شد (شکل ۶).



شکل ۶- شاخص نرمال شده نظام تولید زعفران در سطوح کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)

Fig. 6- Normalized indicator values of saffron at nitrogen levels (kg.ha^{-1})

بیشترین مجموع شاخص زیست محیطی نظام تولید زعفران در استان خراسان در سطوح مختلف کود نیتروژن برای گروه‌های تأثیر اوتریفیکاسیون در محیط آبی، گرمایش جهانی، اوتریفیکاسیون در محیط خشکی و اسیدی شدن به ترتیب با ۰/۶۲ واحد معادل PO_4 به ازای یک تن بنه، ۰/۱۲ واحد معادل دی‌اکسید کربن به ازای یک تن بنه، ۰/۰۸ واحد معادل دی‌اکسید گوگرد به ازای یک تن بنه و ۰/۰۷ واحد معادل NO_x به ازای یک تن بنه برای سطح کودی بیش از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار محاسبه گردید (شکل ۷).



شکل ۷- مجموع شاخص زیست محیطی نظام تولید زعفران به ازای یک واحد کارکردی در سطوح کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)

Fig. 7- Aggregated environmental indicator value (Eco-X) of saffron for one functional unit at nitrogen levels (kg.ha^{-1})

نتیجه‌گیری

بطور کلی، اگرچه مقدار مصرف کود نیتروژن در نظام تولید زعفران نسبتاً بالا می‌باشد، ولی به نظر می‌رسد جذب کمتر کود توسط گیاه تحت تأثیر محتوی رطوبتی پایین‌تر خاک، از طریق اتلاف نیتروژن و انتشار آن به فرم‌های مختلف به محیط باعث افزایش پتانسیل آلودگی آن در گروه‌های تأثیر شده است. در نهایت، بالاترین اثرات زیست محیطی نظام تولید زعفران در استان خراسان که باعث بروز بالاترین اثرات زیست محیطی شد، برای گروه تأثیر اوتریفیکاسیون محیط آبی بدست آمد. بدین ترتیب، به نظر می‌رسد که بتوان با مدیریت با مدیریت نظام زراعی تولید زعفران بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده و اکولوژیک برای کاهش این اثرات زیست محیطی بهره جست. از جمله روش‌های مؤثر در این زمینه می‌توان به روش‌های مختلف مدیریتی نظیر مصرف انواع کودهای آلی و بقایای گیاهی، کاهش عملیات خاکورزی و اعمال خاکورزی‌های کاهش یافته و حداقل، کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژن، وارد کردن گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن در تناوب زراعی، کشت مخلوط این گونه‌های گیاهی و همچنین بهبود کارایی مصرف نیتروژن اشاره کرد. بایستی توجه گردد که بوم‌نظام‌های زراعی با عملکرد بالا الزاماً در تضاد با مشکلات زیست‌محیطی نیستند، ولی مصرف بیش از حد کودهای نیتروژنه با افزایش تلفات نیتروژن به فرم‌های مختلف و کاهش کارایی مصرف آن، افزایش بروز آلودگی‌های زیست محیطی را موجب می‌شود. بنابراین، با توجه به این مطلب که زعفران عناصر غذایی زیادی از خاک برداشت نمی‌کند (Ait-Aubahou & El-Otmani, 1999)، پیشنهاد می‌شود جهت حداقل کردن اثرات زیست محیطی تولید محصولات کشاورزی به افزودن متناسب عناصر غذایی بر مبنای نیاز گیاه و کارایی مصرف منابع به عنوان اصولی کلی توجه گردد (Brentrup et al., 2004b). ایریارته و همکاران (Iriarte et al., 2010) با بررسی اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید آفتابگردان و کلزا بیان داشتند که بالاترین اثرات زیست محیطی برای گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی و اوتریفیکاسیون حاصل گردید. آنها دلیل این امر را به تولید و مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی برای افزایش تولید این محصولات و همچنین مصرف سوخت‌های فسیلی تحت تأثیر عملیات فشرده خاکورزی نسبت دادند. هایاشی (Hayashi, 2005) نیز دریافت که فشردگی عملیات زراعی همبستگی قوی با درجه اثرات زیست محیطی به ازای تولید یک تن میوه گوجه فرنگی داشت. برنتراپ و همکاران (Brentrup et al., 2004b) با ارزیابی نظام تولید گندم زمستانه در مقادیر کود نیتروژن بیان داشتند که در مقادیر کم، شاخص زیست محیطی پایین بود و با افزایش مصرف کود، شاخص زیست محیطی تشدید گردید. کلیورا و همکاران (Cellura et al., 2012) اظهار داشتند از آنجا که محاسبه LCA می‌تواند سهم بسزایی در توزیع اثرات زیست محیطی محصولات مختلف زراعی ایفاء کند، لذا مطالعه این شاخص اکولوژیکی را بایستی به عنوان راهکاری برای ارزیابی بوم‌نظام‌های زراعی مدنظر قرار داد. بنابراین، از آنجا که بالاترین اثرات زیست محیطی نظام تولید زعفران برای گروه تأثیر اوتریفیکاسیون در محیط آبی و گرمایش جهانی حاصل شد، بایستی از راهکارهای اکولوژیک نظیر مصرف انواع کودهای آلی و بقایای گیاهی، کاهش عملیات خاکورزی، کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژن، وارد کردن گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن در تناوب زراعی و کشت مخلوط بهره‌گیری شود.

منابع

Ait-aubahou, A., El-otmani, M., 1999. Saffron cultivation in Morocco. In: M. Negbi (Ed.). Saffron. Harwood Academic Publication, Amsterdam. p. 154.

Allen, V.B., Bryson, G.M., 2007. Essential Elements-Macronutrients. II. Nitrogen. In: V.B. Allen, and J.P. David (Eds.). Handbook of Plant Nutrition. CRC Press, Baca Raton, London. p. 21-51.

Barker-Reid, F., Gates, W.P., Wilson, K., Baigent, R., Galbally, I.E., Meyer, C.P., Weeks, I.A., Eckard, R.J., 2005. Soil nitrous oxide emission from rainfed wheat in SE Australia. In A. van Amsted (Ed.). Non-CO_2 greenhouse gases (NCGG-4). Utrecht, the Netherlands: Millpress.

Barton, L., Kiese, R., Gatter, D., Butterbach-bahl, K., Buck, R., Hinz, C., Murphy, D., 2008. Nitrous oxide emissions from a cropped soil in a semi-arid climate. Glob. Change Biol. 14, 177-192.

Biswas, W.K., Graham, J., Kelly, K., John, M.B., 2010. Global warming contributions from wheat, sheep meat and wool production in Victoria, Australia. A life cycle assessment. J. Clean. Prod. 30, 1-7.

Bouwman, A.F., 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In: A.F. Bouwman (Ed.), Soils and the greenhouse effect (p. 61–127). Chichester: Wiley.

Braschkat, J., Patyk, A., Quirin, M., Reinhardt, G.A., 2003. Life cycle assessment of bread production– a comparison of eight different scenarios. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, Bygholm, Denmark.

Brentrup, F., Kusters, J., Kuhlmann, H., Lammel, J., 2001. Application of the life cycle assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers. Eur. J. Agron. 14, 221-233.

Brentrup, F., Kusters, J., Kuhlmann, H., Lammel, J., 2004a. Environmental impacts assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology, I. Theorical concept of a LCA method tailored to crop production. Eur. J. Agron. 20, 247-264.

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

Cellura, M., Longo, S., Mistretta, M., 2012. Life cycle assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study. J. Clean. Prod. 28, 56-62.

Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A.A., de Oude, N., Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Quay, B., Séguin, J., Vignon, B., 1993. (Eds.) Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Brussels.

Crutzen, P.J., 1981. Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, including nitrous oxide. In: C.C. Delwiche (Ed.), Denitrification, nitrification, and atmospheric nitrous oxide (p. 17–44). New York: Wiley.

Eckert, H., Breitschuh, G., Sauerbeck, D., 1999. Kriterien einer umweltverträglichen Landbewirtschaftung (KUL)-ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben (Criteria of Environmentally friendly land use (KUL)-a method for the environmental evaluation of farms). Agriculture Biotechnology Research 52: 57-76. [In German].

Fallahpour, F., Aminghafouri, A., Ghalegolab Behbahani, A., Bannayan, M., 2012. The

environmental impact assessment of wheat and barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology. Environ. Dev. Sust. 14, 979-992.

FAO., 2003. World Agriculture: Towards 2015/2030. An FAO Perspective. http://www.fao.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. Int. J. Life Cycle Assess. 11(2), 80–85.

Fott, P., Pretel, J., 2003. Národní zpráva České republiky oinventarizaci emisí skleníkových plynů. ČHMÚ, Praha, 97 pp.

Guinée, J., 1996. Data for the Normalization Step within Life Cycle Assessment of Products. CML Paper No. 14 (revised version). CML (Centre of Environmental Science), Leiden.

Guinée, J.B., 2001. Life cycle assessment: an operational guide to the ISO standards. Centre of Environmental Science, Leiden University, Leiden.

Haas, G., Wetterich, F., Kpke, U., 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. Agric. Ecosystem & Environ. 83(1–2), 43–53.

Hayashi, K., 2005. Practical implications of functional units in life cycle assessment for horticulture: Intensiveness and environmental impacts (Vol. I, p. 368–371). LCM2005: Innovation by Life Cycle Management: Barcelona, Spain.

Iriarte, A., Rieradevall, J., Gabarrell, X., 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. J. Clean. Prod. 18, 336–345.

ISO (International Organization for Standardization)., 2006. ISO 14040:2 006(E) Environmental Management–Life Cycle Assessment– Principles and Framework.

Kafi, M., Hemmatikakhaki, A., Karbasi, A.R., 2002. History, Economic importance, cultivated area, production and saffron usages, in: Kafi, M. (Eds.). Saffron (*Crocus sativus* L.) Production and Processing. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. pp. 21-38. [In Persian]

Khorramdel, S., 2012. Evaluation of the potential of carbon sequestration and Life Cycle Assessment (LCA) approach in different management systems for corn. PhD Thesis, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian].

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, R., Amin Ghafori, A., 2014. Evaluation of environmental impacts for wheat agroecosystems of Iran by using life cycle assessment methodology. Cereal Res. In Press [in Persian with English Summary].

Marini, M., Senhaji, F., Pimentel, D., 2002. Energy analysis of sugar beet production under traditional and intensive farming systems and impact on sustainable agriculture in Morocco. J. Sustain. Agric. 20, 5–27.

Meisterling, K., Samaras, C., Schweizer, V., 2009. Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. J. Clean. Prod. 17, 222–230.

Mirhaji, H., Khojastehpour, M., Abbaspour-Fard, M., Mahdavi Shahri, S.M., 2012. Environmental impact study of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production using life cycle assessment (Case study: South Khorasan region). J. Agroecol. 4(2): 112-120. [in Persian].

Moayedi Shahraki, E., Jami Al-Ahmadi, M., Behdani, M.A., 2010. Study of energy efficiency of saffron (*Crocus sativus* L.) in Southern Khorasan. J. Agroecol. 2(1), 55-62. [in Persian with English Summary].

Monti A., Fazio S., Venturi G., 2009. Cradle-to-farm gate life cycle assessment in perennial energy crops. Eur. J. Agron. 31, 77-84.

Moudrý, J., Jelínková, Z., Plch, R., Moudrý, J., Konvalina, P., Hyšpler, R., 2013. The emissions

of greenhouse gases produced during growing and processing of wheat products in the Czech Republic. J. Food, Agric. Environ. 11(1), 1133-1136.

Nemecek, T.H., Heil, A., Gaillard, G., Garcia, J., 2001. SALCA, Swiss Agricultural Life Cycle Assessment Database: Umweltinventare ur die Landwirtschaft. Unpublished Internal Document, Version 012, December 2001. Agroscope FAL Reckenholz, Zurich, Switzerland.

Pimentel, D., Burgess M., 1980. Energy inputs in Corn production. In: Fluck, R.C. (Eds.). Handbook of energy utilization in agriculture. CRC. Press. INC, pp. 67-84.

Rahimizadeh, M., Madani, H., Rezadoust, S., Mehraban, A., Marjani, A., 2007. Analysis of energy in agroecosystems and methods of increasing energy efficiency. In: The 6th National Energy Congress. 12-13 June, 2007. Available at:http://Iranenergy.org.ir/sixth/new3/final_schedule.pdf

Rao, P.S.R.S., 2000. Sampling methodologies with applications, Florida: Chapman and all/CRC Press. ISBN: 1- 58488214-X.

Rathke, G.W., Diepenbrock, W., 2006. Energy balance of winter oil seed rape cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. Eur. J. Agron. 24, 35-44.

Roy, P., Shimizu, N., Kimura, T., 2009. Life cycle inventory analysis of rice produced by local processes. JSAM. 67(1), 61–67.

Sabzevari, M. 1995. Saffron: the red gold of desert. Bank Keshavarzi Publication, No. 46. [in Persian].

Sahle, A., Potting, J., 2013. Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. Sci. Total Environ. 443, 163-172.

Schumacher, K., Sathaye, J., 1999. Indias Fertiliser Industry: Productivity and Energy Efficiency. Environmental Science Division, Office of Biological and Environmental Research (OBER), Office of Energy Research, U.S. Department of Energy under Contract No. DEAC03- 76SF00098, 59 pp.

Evaluation of environmental impacts for saffron agroecosystems of Khorasan based on nitrogen fertilizer by using Life Cycle Assessment (LCA)

Abdollah Mollafilabi[1*], Surur Khoramdel[2], Afsaneh Aminghafori[3] and Mohammad Hosseini[4]

1- Assistant Professor Department of Agricultural & Natural Resourses, Torbat-e-Jam Branch, Islamic Azad University, Torbat-e-Jam

2- Assistant Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Instructor, Payam Nour University of Ghoochan, Khorasan-e-Razavi

4- Researcher, Research Institute of Food Science and Technology

*- Corresponding Author E-mail: dr_filabi@yahoo.com

Mola filabi, A., Khoramdel, S., Aminghafori, A., and Hosseini, M., 2015. Evaluation of environmental impacts for saffron agroecosystems of Khorasan based on nitrogen fertilizer by using Life Cycle Assessment (LCA). Journal of Saffron Research. 2(2): 152-166.

Submitted: 20-10-2014
Accepted: 05-01-2015

Abstract

Life cycle assessment (LCA) is a methodology to assess all environmental impacts associated within a product by a accounting and evaluating its resource consumption and emission to environment. This study evaluated the environmental impacts of saffron agroecosystems of Khorasan based on nitrogen levels by using life cycle assessment (LCA) methodology, mean corm weight and consumed inputs in saffron agroecosystems of Khorasan per one ha were defined during years of 1999 to 2013. Four steps including goal definition and scoping (D & S), inventory analysis (IA), life cycle impact assessment (LCIA) and integration &interpretation (I & I) were considered based on ISO (International Organization for Standardization) 14040 methods. Acidification, aquatic and terrestrial eutrophication and global warming were considered as three important impact categories. Functional unit of saffron agroecosystems was considered as one tone corm. The results showed that by increasing in nitrogen fertilizer level from 200 to more than 350 $kg.ha^{-1}$ acidification and aquatic and terrestrial eutrophication impact categories enhanced up to 37, 36 and 37%, respectively. The highest global warming potential was computed with 1128.17 CO_2 equiv./t corm for 350 kg N ha^{-1}. The maximum eco-Index for saffron agroecosystems of Khorasan were calculated in 350 kg N ha^{-1} with 0.62 PO_4 equiv./t corm and 0.12 CO_2 equiv./t corm, respectively. Therefore, it can be concluded that applying of organic principles such as reduced tillage and organic fertilizer as sustainable approaches were considered for management of saffron agroecosystems.

Keywords: Aquatic eutrpphication, Environmental impacts, Global warming, Pollutant emission