

بررسی اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید زعفران با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات
(مطالعه موردی: شهرستان‌های تربت حیدریه و قائن)

سرور خرم دل^{۱*}، لیلی ابوالحسنی^۲ و الهه اعظم رحمتی^۳
۱- استادیار گروه زراعت، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
*نویسنده مسئول: Email: khorramdel@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۴

چکیده

این مطالعه با هدف مقایسه اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید زعفران طی سال‌های اول تا هفتم در شهرستان‌های تربت حیدریه و قائن به عنوان دو قطب مهم تولید این محصول، در سطوح مختلف مصرف نهاده‌ها و کود دامی (کمتر از ۱۰۰، ۱۵۰-۱۰۰ و بیش از ۱۵۰ تن در هکتار) در سال ۱۳۹۴ با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) انجام شد. بر اساس روش LCA, ISO14044 در چهار گام تعریف اهداف و حوزه عمل مطالعه، ممیزی چرخه حیات، ارزیابی تأثیر چرخه حیات (شامل گرمایش جهانی، غنی‌سازی در محیط‌های خشکی و آبی و اسیدی شدن) و تلفیق و تفسیر نتایج محاسبه شد. واحد کارکردی معادل یک تن گل در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که میزان مصرف نهاده‌ها شامل سوخت و کودهای دامی و شیمیایی در تربت حیدریه بالاتر از قائن بود. همچنین بالاترین عملکرد گل در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه (به ترتیب با ۱/۴۷ و ۱/۶۶ تن در هکتار) در پایین‌ترین سطح مصرف کود دامی حاصل گردید. بالاترین پتانسیل غنی‌سازی در محیط آبی در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه برای بیشترین میزان مصرف کود دامی به ترتیب برابر با ۴/۸۶۱ و ۱۰/۹۸۳ واحد معادل کیلوگرم PO₄ به ازای یک تن گل مشاهده گردید. بالاترین مجموع شاخص بوم‌شناخت در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه برای بالاترین سطح کودی برابر با ۱/۳۴ و EcoX ۳/۱۸ به ازای یک تن گل محاسبه گردید. با توجه به سهم بالای اثرات زیست محیطی در نظام‌های تولید زعفران به ویژه در تربت حیدریه توصیه می‌شود از کشت مخلوط، کم‌خاکورزی و مصرف مقادیر مناسب کودهای آلی بهره‌گیری گردد.

واژه‌های کلیدی: تنوع کارکردی، پایداری نظام‌های تولید، غنی‌سازی، گرمایش جهانی

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاه زیرزمینی پاییزه و چندساله است که ارزش دارویی و ادویه‌ای فراوانی دارد (Zohary and Hopf, 1994). پیازهای مادری این محصول در سال اول کاشته می‌شوند و به طور میانگین تا پایان سال هفتم گل‌های آن هر ساله برداشت می‌شود (Sampathu et al., 1984). تولید این محصول یک درآمد کلیدی برای معیشت خانواده‌های روستایی ایجاد نموده است. دو قطب مهم تولید زعفران در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی، قائن و تربت حیدریه هستند.

کشاورزی یکی از مهمترین مصرف‌کننده‌های انرژی است (Ozkan et al., 2004). تعیین میزان مصرف انرژی در کشاورزی به منظور انتخاب راهکارهای مناسب جهت تخفیف اثرات زیست محیطی ضروری بوده و یکی از شاخص‌های مهم توسعه پایدار محسوب می‌شود (Tzilivakis et al., 2005). مطالعات نشان داده که ارزیابی کارایی مصرف منابع و انرژی به عنوان دو اصل مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های زراعی مطرح می‌باشند (Risoud, 2000). بونسمو و همکاران (Bonesmo et al., 2012) تأکید کردند که انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای بر اساس مقدار به ترتیب مربوط به CH_4 (۳/۳ پتاگرم معادل CO_2 در سال)، N_2O (۲/۸ پتاگرم معادل CO_2 در سال) و CO_2 (۰/۰۴ پتاگرم معادل CO_2 در سال) می‌باشد. صحابی و همکاران (Sahabi et al., 2015) انرژی مصرفی و کارایی مصرف انرژی زعفران در تربت حیدریه را به ترتیب ۲۱۵۸۰ مگاژول در هکتار و ۰/۰۳۵ محاسبه کردند. آنها عمده‌ترین موارد مصرف انرژی را به ترتیب به عملیات کاشت دستی پیاز (۵۹/۶۶ درصد)، مصرف کود نیتروژن (۱۳/۷۹ درصد) و کود دامی (۱۳/۳۵ درصد) مربوط دانستند. بختیاری و همکاران (Bakhtiari et al., 2015) انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید زعفران را ۲۳۲۵/۵ معادل کیلوگرم CO_2 در هکتار برآورد کرده و عمده‌ترین عامل انتشار این گازها را به کودهای شیمیایی نسبت دادند. مؤیدی شهرکی و همکاران (Moayedi Shahraki et al., 2010) اظهار داشتند که بیشترین انرژی مصرفی نظام‌های زعفران در استان خراسان جنوبی در سال اول مربوط به کود دامی بود و طی سال‌های دوم تا پنجم به

کاربرد کود اوره اختصاص داشت. با این‌وجود، تجزیه و تحلیل انرژی نمی‌تواند درک کاملی از بوم‌نظام کشاورزی ارایه نماید. البته توسعه دیدگاه‌ها می‌تواند در بهبود کیفی برنامه‌ریزی‌ها مؤثر باشد (Rahimizadeh et al., 2007).

ارزیابی چرخه حیات (LCA)^۱ یکی از راهکارهای اکولوژیکی کمی‌سازی و ارزیابی پتانسیل اثرات زیست-محیطی فرآیند تولید محصولات کشاورزی از تولید تا مصرف و به عبارت دیگر، از گهواره تا گور است (Brentrop and Palliere, 2008; Kopyński, 2012) که بر مبنای دو مؤلفه مصرف منابع و انتشار آلاینده‌ها به محیط زیست تعیین می‌شود (Roy et al., 2004a; Brentrop et al., 2009). برنتراپ و همکاران (Brentrop et al., 2004a) بیان داشتند که ارزیابی پایداری نظام‌های کشاورزی ضروری بوده و بدین منظور می‌توان از شاخص‌های مختلف استفاده کرد. این محققان با توجه به کارکردها و دامنه استفاده از LCA، بهره‌گیری از این رویکرد اکولوژیک را رهیافتی مناسب برای ارزیابی اثرات زیست محیطی معرفی نمودند. ملافیلابی و همکاران (Mollafilabi et al., 2014) با بررسی اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید زعفران در استان خراسان بر مبنای میزان مصرف کود نیتروژن با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات گزارش نمودند که بالاترین پتانسیل گرمایش جهانی با ۱۱۲۸/۱۷ واحد معادل دی‌اکسید کربن به ازای یک تن پیاز مربوط به سطح کودی بیش از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. مونتی و همکاران (Monti et al., 2009) نشان دادند که با جایگزین کردن گیاهان چندساله در بوم‌نظام‌های زراعی می‌توان اثرات زیست محیطی ناشی از انتشار CO_2 و آبشویی نیترات را تا بیش از ۵۰ درصد کاهش داد.

مطالعات دیگری نیز با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات بر روی بررسی اثرات زیست محیطی نظام‌های تولیدی تعدادی از محصولات زراعی شامل گندم (Khorramdel et al., 2014)، جو (Khorramdel et al., 2015)، سیب‌زمینی (Esmailpour et al., 2015)، چغندر قند (Khorramdel et al., 2016) و

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت پرسشنامه‌ای از طریق مراجعه حضوری به کشاورزان زعفران کار در سال ۱۳۹۴ در دو شهرستان تربت حیدریه و قائن انجام شد. همزمان با تکمیل پرسشنامه، مصاحبه‌هایی با صاحب‌نظران در اداره جهاد کشاورزی، مراکز خدمات کشاورزی، تعاونی‌های خدمات کشاورزی و همچنین مهندسين ناظر استان‌های خراسان رضوی و جنوبی انجام شد. برای تعیین تعداد کشاورزان از روش نمونه‌گیری تصادفی و فرمول کوکران (معادله ۱) استفاده شد (Snedecor and Cochran, 1980). بر این اساس، تعداد کشاورزان (تعداد مزرعه) در هر شهرستان ۷۵ نفر تعیین گردید.

$$n = \frac{N t^2 s^2}{Nd^2 + t^2 s^2} \quad \text{معادله (۱)}$$

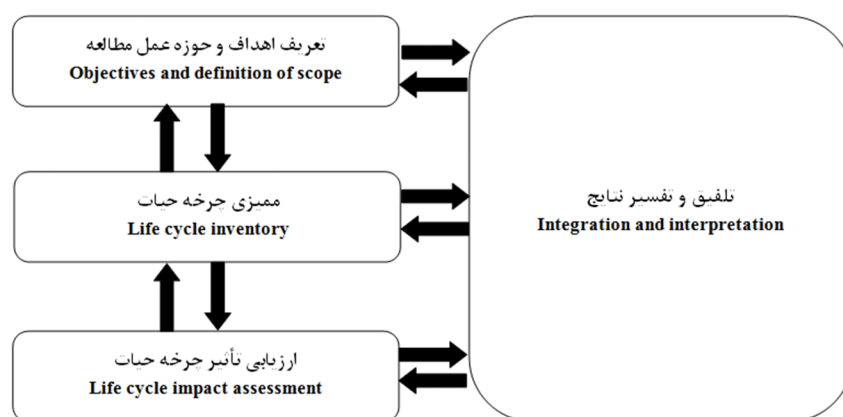
که در این معادله، N : اندازه جامعه آماری یا تعداد زارعین (۲۰۰۰ نفر بهره‌بردار)، t : استیودنت ضریب اطمینان (بر اساس احتمال ۹۵٪)، S_2 : واریانس، d : دقت احتمالی مطلوب و n : حجم نمونه می‌باشد.

بر اساس روش ارائه شده در ISO14044 (ISO, 2004a; Brentrup et al., 2006)، LCA در چهار گام تعریف اهداف و حوزه عمل مطالعه، ممیزی چرخه حیات، ارزیابی تأثیر چرخه حیات و تلفیق و تفسیر نتایج محاسبه و تعیین شد (شکل ۱).

بادام‌زمینی (Nikkhah et al., 2015) صورت گرفته که نتایج آن راهکارهای اکولوژیکی را در زمینه مدیریت پایدار این محصولات در کشور ارائه نموده است.

غنی‌سازی^۱ یکی دیگر از مهمترین اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید محصولات کشاورزی است که مهمترین عامل مؤثر بر تشدید آن مصرف کودهای فسفات می‌باشد. تلفات بخش زیادی از این عنصر موجب بروز آلودگی آب‌های سطحی و زیرسطحی و همچنین کاهش کیفیت محصولات زراعی می‌شود (Charles et al., 2006). مصرف نهاده‌های شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژن یکی از عوامل اصلی تشدیدکننده اسیدی شدن به عنوان یکی دیگر از تبعات زیست محیطی فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد (Fallahpour et al., 2012). بر این اساس، از آنجا که نیتروژن یکی از عناصر اصلی مورد استفاده در بیشتر بوم‌نظام‌های زراعی است، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و ارائه راهکارهای اکولوژیک و جایگزین می‌تواند سهم بسزایی در کاهش اثرات زیست محیطی داشته باشد.

به طور کلی، با توجه به کمبود آب و سطح پایین آب‌های زیرزمینی در منطقه خراسان، کشاورزان کاشت زعفران را به سایر محصولات ترجیح می‌دهند. از طرف دیگر، امروزه گرایش به بکارگیری ماشین آلات، استفاده فشرده از کودهای شیمیایی و دامی می‌باشد که این امر علاوه بر بروز مشکلات زیست محیطی همچون گرمایش جهانی، اسیدی‌شدن، غنی‌سازی و آلودگی آب‌های زیرزمینی، کاهش کیفیت محصولات کشاورزی را نیز موجب شده است. بدین ترتیب، با توجه به اهمیت ارزیابی زیست محیطی نظام‌های تولید زعفران در استان خراسان، هدف از این تحقیق، مقایسه اثرات زیست محیطی این نظام‌ها در شهرستان‌های تربت حیدریه و قائن به عنوان دو قطب مهم تولید این محصول بومی در سطوح مختلف مصرف نهاده‌ها و کود دامی طی سال‌های اول تا هفتم بود.



شکل ۱. چهارچوب روش ارزیابی چرخه حیات (ISO 14040, 1997)

Fig. 1. Life cycle assessment framework (ISO 14040, 1997)

الف- تعریف اهداف و حوزه عمل مطالعه: «واحد کارکردی» نظام‌های تولید زعفران معادل یک تن گل در نظر گرفته شد (Brentrup et al., 2004a).

ب- ممیزی چرخه حیات^۲: در این مرحله، میزان مصرف نهاده‌ها تعیین و بر حسب واحد کارکردی محاسبه شد (Brentrup et al., 2001).

ج- ارزیابی تأثیر چرخه حیات^۳: گروه‌های تأثیر مورد بررسی شامل غنی‌سازی در محیط‌های آبی و خشکی، گرمایش جهانی و اسیدی شدن بودند. به منظور تجزیه و تحلیل کمی نتایج بخش ممیزی، برای هر یک از گروه‌های تأثیر، فاکتور مشخص‌سازی^۴ تعریف شد (Brentrup et al., 2004a; Finkbeiner et al., 2006).

گرمایش جهانی: پتانسیل گرمایش جهانی^۵ برای بیان میزان مشارکت گازهای گلخانه‌ای در بروز تغییرات آب و هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sheng-Wei et al., 2010). این گروه تأثیر از طریق برآورد میزان تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل CO_2 ، CH_4 و N_2O تعیین و بر اساس واحد معادل CO_2 یکسان‌سازی شد (ISO, 2006).

د- غنی‌سازی: با در نظر گرفتن این مطلب که منبع تشدیدکننده غنی‌سازی در بوم‌نظام‌های خشکی ورود

اسیدی شدن: شاخص مربوط به گروه تأثیر پتانسیل اسیدی شدن^۶ بر اساس میزان ورود املاح و ترکیبات معدنی به خاک برآورد و بر اساس واحد معادل SO_2 یکسان‌سازی شد (Brentrup et al., 2004a; Biswas et al., 2008).

به این ترتیب، ابتدا سه گروه تأثیر فوق ممیزی و تأثیر کارکرد بوم‌نظام‌های تولید زعفران در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه در سطوح مختلف مصرف کود دامی شامل کمتر از ۱۰۰، ۱۰۰-۱۵۰ و بیش از ۱۵۰ تن در هکتار بصورت کمی تعیین شد. این گروه‌های تأثیر که بسته به ماهیت ممکن است منبع یا عوامل انتشار یافته باشند در ضریب تأثیر مربوطه ضرب و تأثیر آنها به ازای واحد کارکردی تعیین شد. پس از آن، نرمال کردن شاخص‌ها بر اساس دستورالعمل ISO انجام شد (Guinée, 1996; Guinée, 2001). سپس شاخص‌های نرمال با استفاده از ضرایب موزون شدند تا شدت تأثیر آنها بر حسب وزن مربوط به هر گروه تأثیر در محاسبات لحاظ گردد.

- 1- Objectives and definition of scope
- 2- Life cycle inventory (LCI)
- 3- Life cycle impact assessment (LCIA)
- 4- Characteristic factor (CF)
- 5- Global warming potential

6- Acidification potential (AP)

کاهش یافت. از طرف دیگر، از آنجا که افزایش شدت عملیات خاکورزی و مصرف حاصلخیزکننده‌های خاک، علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید، بروز آلودگی‌های زیست محیطی، انتشار CO₂ و سایر گازهای گلخانه‌ای را به دنبال دارد، توصیه می‌گردد مقادیر کود مصرفی با توجه به نیاز گیاه و پس از تعیین خصوصیات خاک و همچنین توجه به سایر عوامل همچون اقلیم منطقه انتخاب و مدنظر قرار داده شود. چارلز و همکاران (Charles et al., 2006) با انجام مطالعات بهینه‌سازی میزان مصرف نهاده‌ها در نظام‌های تولید محصولات کشاورزی با بهره‌گیری از ارزیابی چرخه حیات خاطر نشان ساختند که به منظور کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، بایستی عملکرد افزایش باید تا شدت انتشار آلاینده‌ها به سبب استفاده بیشتر از کودهای شیمیایی توجیه‌پذیر گردد. البته در خصوص گیاه کم‌نهاده و حاشیه‌ای زعفران به نظر می‌رسد این موضوع باید با دقت بیشتری مورد توجه قرار گیرد. با این وجود، از آنجا که زعفران عموماً به عنوان یک محصول ارزشمند نقش کلیدی در اقتصاد کشاورزان در استان خراسان ایفاء می‌نماید (Kafi et al., 2002)، یکی از مهمترین صادرات غیرنفتی محسوب می‌شود (زعفران در بین صادرات محصولات کشاورزی رتبه پنجم را با ارزش ۷۵/۷ میلیون دلار به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2012)) و طی دوره هشت ساله موجب بکارگیری ۲۰۵ نفر در روز در سال می‌شود (Saborbilandi and Vadiiei, 2007)، پیشنهاد می‌شود با بهره‌گیری از راهکارهای مختلف زراعی، ژنتیکی، به‌نژادی و ... تولید آن در واکنش به مصرف نهاده‌ها افزایش داده شود.

پتانسیل گرمایش جهانی: بالاترین پتانسیل گرمایش جهانی در هر دو شهرستان قائن و تربت حیدریه مربوط به بیشترین میزان مصرف کود دامی (بیش از ۱۵۰ تن در هکتار) به ترتیب برابر با ۰/۲۷۳ و ۰/۶۲۵ واحد معادل کیلوگرم CO₂ به ازای یک تن گل بود. با افزایش میزان مصرف کود دامی از کمتر از ۱۰۰ به بیش از ۱۵۰ تن در هکتار پتانسیل گرمایش جهانی در شهرستان‌های مذکور به ترتیب ۷۳ و بیش از ۱۰۰ درصد افزایش یافت. بالاترین میزان انتشار آلاینده‌های این گروه تأثیر شامل CO₂،

د- تلفیق و تفسیر نتایج^۱: در آخرین مرحله شاخص زیست‌محیطی تحت عنوان شاخص بوم‌شناخت (Eco-X)^۲ که معیار نهایی LCA می‌باشد، محاسبه شد (Brenttrup et al., 2004a).

برای سنجش قابلیت پایایی^۳ پرسشنامه، ضریب آلفای کرونباخ^۴ محاسبه گردید (Cronbach, 1951). پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، دسته‌بندی اطلاعات و محاسبات مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گردید. شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Sigma plot رسم شدند.

نتایج و بحث

میزان نهاده‌های مصرفی و عملکرد گل: میانگین میزان نهاده‌های مورد استفاده به ازای یک هکتار مزرعه زعفران طی سال‌های اول تا هفتم در شهرستان‌های تربت حیدریه و قائن در جدول ۱ نشان داده شده است.

آلفای کرونباخ: ضریب آلفای کرونباخ برای مقیاس اصلی پرسشنامه ۰/۸۴=α محاسبه شد که نشان‌دهنده قابلیت اعتماد بالای پرسشنامه بوده است.

عملکرد گل: بالاترین عملکرد گل زعفران در هر دو شهرستان قائن و تربت حیدریه در پایین‌ترین سطح مصرف کود دامی (کمتر از ۱۰۰ تن کود دامی در هکتار) به ترتیب با ۱/۴۷ و ۱/۶۶ تن در هکتار حاصل گردید. با افزایش میزان مصرف کود دامی از کمتر از ۱۰۰ تن به بیش از ۱۵۰ تن در هکتار عملکرد گل در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه به ترتیب ۳ و ۲ درصد کاهش یافت. میزان این کاهش با افزایش مصرف کود دامی از کمتر از ۱۰۰ به ۱۵۰-۱۰۰ تن در هکتار به ترتیب برابر با ۲ و ۱ درصد تعیین شد (جدول ۱).

با افزایش میزان مصرف کود دامی و بکارگیری ماشین آلات و سایر حاصلخیزکننده‌های خاک در هر دو شهرستان تربت حیدریه و قائن، عملکرد گل احتمالاً به دلیل پایین بودن واکنش‌پذیری این گیاه نسبت به مصرف نهاده‌ها (Ait-Aubahou and El-Otmani, 1999)

- 1- Integration and interpretation (I & I)
- 2- Eco-Index
- 3- Reliability
- 4- Cronbach's Alfa

آلاینده‌ها در شهرستان تربت حیدریه نیز برای بالاترین میزان مصرف کود دامی به ترتیب برابر با ۲۰۹/۵۹، ۳۳۳۰/۶۲ و ۲۲۹۱/۸۵ واحد معادل کیلوگرم CO₂ به ازای یک تن گل بدست آمد (شکل ۲- الف و ب).

CH₄ و N₂O در شهرستان قائن مربوط به مصرف بیش از ۱۵۰ تن کود دامی در هکتار به ترتیب با ۸۹/۹۲، ۹۸۳/۲۱ و ۱۴۲۹/۹۲ واحد معادل کیلوگرم CO₂ به ازای یک تن گل حاصل شد. بیشترین میزان انتشار این

جدول ۱. مقدار نهاده‌ها و ستانده‌های زعفران در دو شهرستان تربت حیدریه و قائن به ازای یک هکتار

Table 1. Input and output of saffron in the two counties of Torbat-e Heydarieh and Ghaen per one ha

الف) نهاده‌ها A) Inputs	قائن Ghaen	تربت حیدریه Torbat-e Heydarieh
سوخت (لیتر) Fuel (l)	340.17	462.28
کود دامی (تن) Livestock manure (t)	126.27	140
کود شیمیایی (کیلوگرم) Chemical fertilizers (kg)		
الف) نیتروژن A) Nitrogen	356.67	615.55
ب) پتاسیم B) Potassium	370.83	410
ج) فسفر C) Phosphorus	276	285.56
سموم شیمیایی (کیلوگرم) Chemical pesticides (kg)		
حشره‌کش A) Insecticide	-	-
ب) علف‌کش و قارچ‌کش B) Herbicide and fungicide	-	-
ب) ستانده B) Outputs		

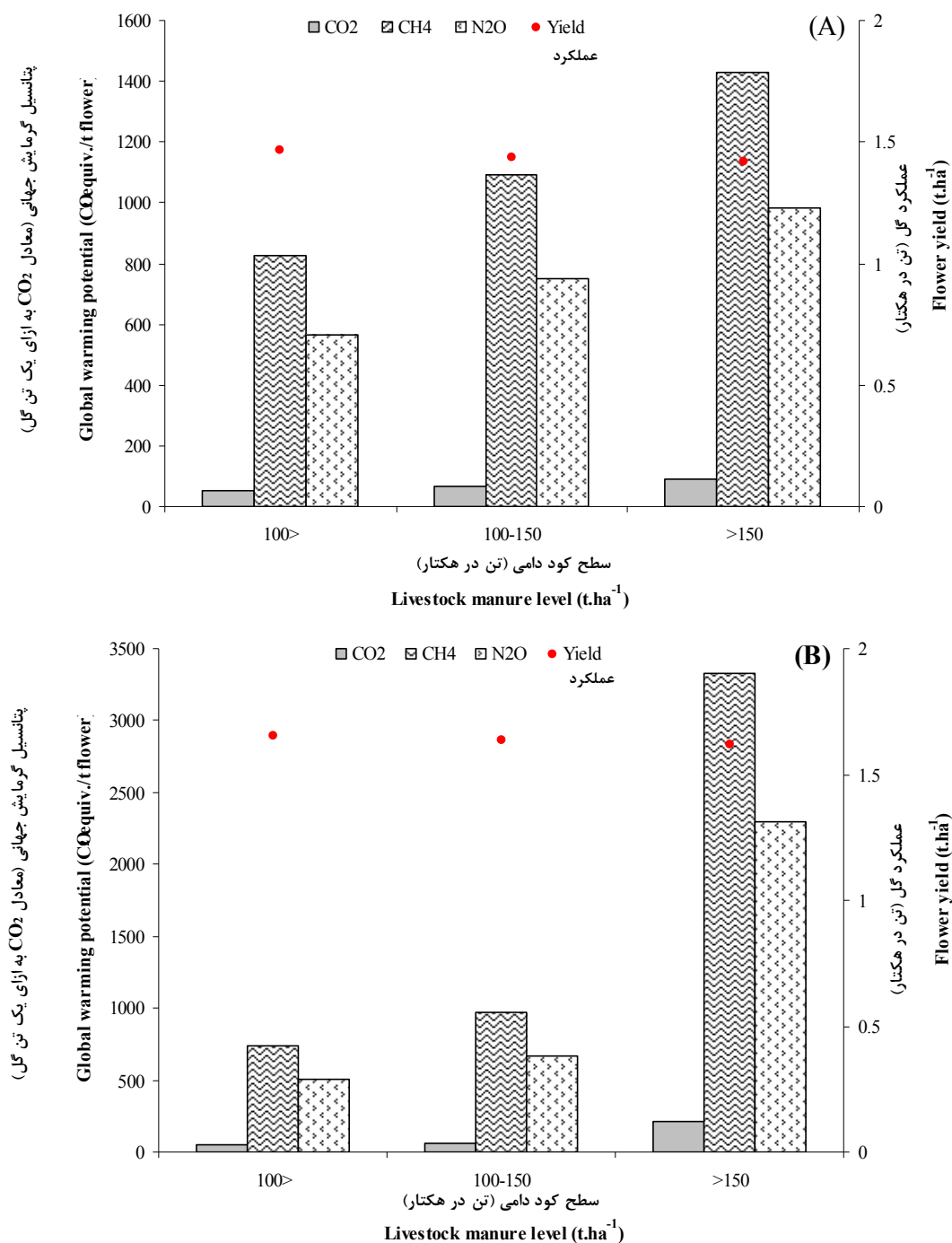
جدول ۲. میانگین عملکرد گل زعفران در مقادیر کود دامی در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه

Table 2. Average of saffron flower yield at levels of livestock manure in the two counties of Ghaen and Torbat-e Heydarieh

کود دامی (تن در هکتار) Cow manure (t.ha ⁻¹)	عملکرد گل (تن در هکتار) Flower yield (t.ha ⁻¹)	
	قائن Ghaen	تربت حیدریه Torbat-e-Heydarieh
<100	0.038±1.468*	0.054±1.655
100-150	0.024±1.434	0.036±1.639
>400	0.026±1.421	0.022±1.619

* اعداد نشان دهنده میانگین±SE هستند.

* Data are means± SE.



شکل ۲. پتانسیل گرمایش جهانی گازهای گلخانه‌ای به ازای یک واحد کارکردی نظام‌های تولید زعفران در سطوح کود دامی در شهرستان‌های (الف) قائن و (ب) تربت حیدریه

Fig. 2. Global warming potential of saffron agroecosystems as a functional unit at levels of livestock manure in the two counties of (A) Ghaen and (B) Torbat-e Heydarieh

(Desjardins, 2003; Moudry et al., 2013). بومن (Bouwman, 1990) نیز دلیل عمده انتشار گازهای گلخانه‌ای از بوم‌نظام‌های زراعی را مصرف کودهای شیمیایی به ویژه نیتروژن معرفی نمود. وست و مارلند (West and Marland, 2002) گزارش کردند که

دلیل عمده تولید و انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای به ویژه CO₂ و N₂O مربوط به مصرف سوخت‌های فسیلی، بکارگیری ماشین‌آلات برای عملیات زراعی و همچنین فرآیند تولید و مصرف کودهای شیمیایی است (Brentrup et al., 2004a; Dyer and)

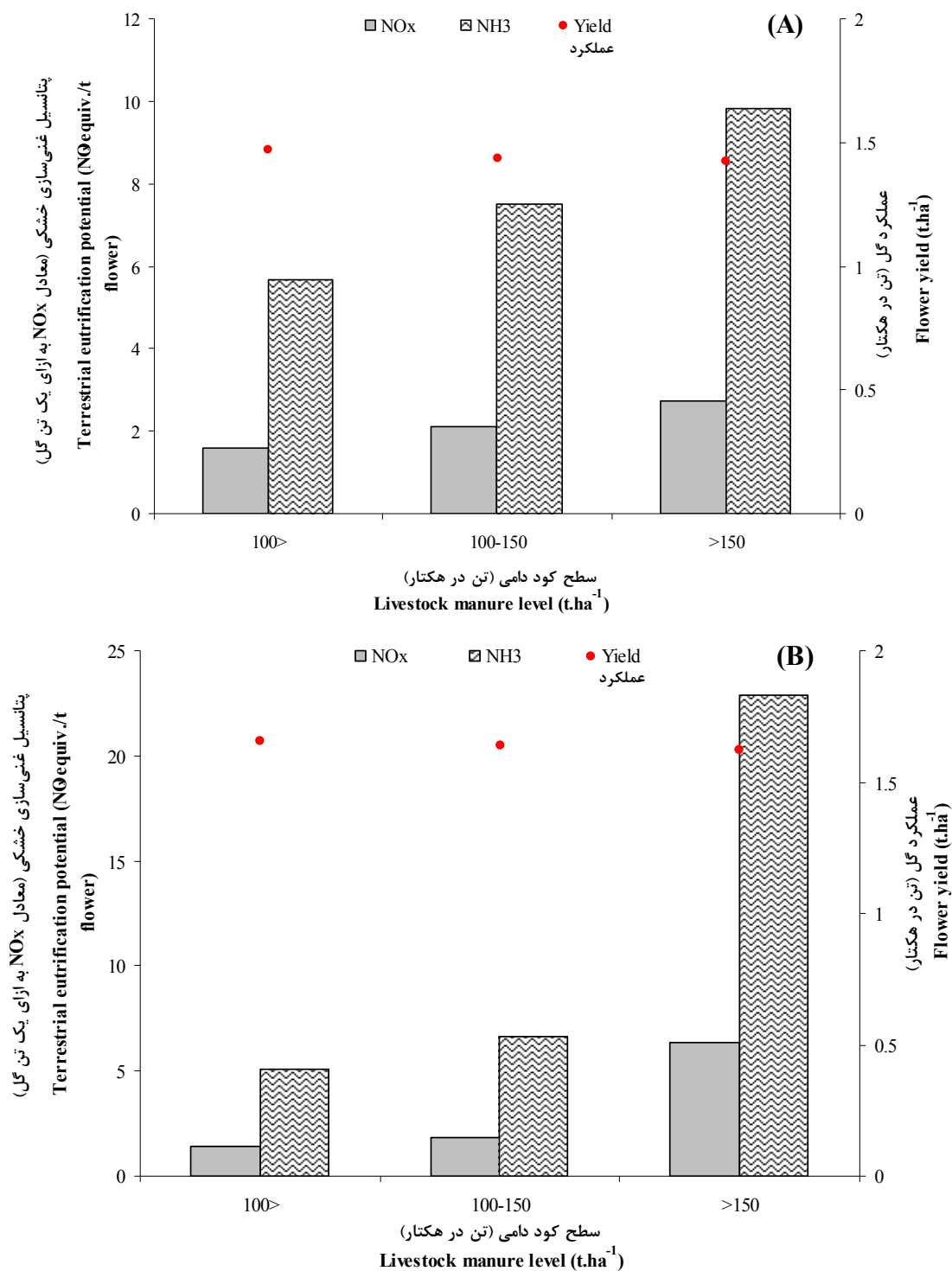
به الگوهای کشت و ورود گیاهان چندساله مانند گیاهان علوفه‌ای، دارویی و در مواردی کاشت زعفران در زیر سایه‌انداز درختان میوه، کاهش خاکورزی و مصرف مقادیر مناسب کودهای آلی با در نظر گرفتن نیاز گیاه و خصوصیات خاک به عنوان راهکارهایی پایدار برای تخفیف اثرات این گروه تأثیر به ویژه در شهرستان تربت حیدریه بهره‌گیری گردد (Braschkat et al., 2003). روش‌های نوین از جمله کم‌خاکورزی نه تنها از نظر صرف انرژی و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی اقتصادی‌تر هستند، بلکه از فرسایش خاک نیز جلوگیری کرده و موجب حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک شده که علاوه بر جلوگیری از تبخیر آب در بوم‌نظام‌های زعفران و خنک شدن سطح خاک در نهایت، باعث بهبود ترسیب کربن خواهد شد. البته اجرای این راهکارها بهبود تنوع کارکردی و در نتیجه پایداری نظام‌های تولید زعفران را نیز موجب خواهد شد.

پتانسیل غنی‌سازی در محیط‌های خشکی و آبی:
بیشترین پتانسیل غنی‌سازی در محیط خشکی در بوم‌نظام‌های تولید زعفران در شهرستان‌های تربت حیدریه و قائن برای بالاترین مقدار مصرف کود دامی (بیش از ۱۵۰ تن کود دامی در هکتار) به ترتیب با ۲۹/۲۱۷ و ۱۲/۵۶۰ واحد معادل کیلوگرم NO_x به ازای یک تن گل حاصل گردید. افزایش میزان مصرف کود دامی از کمتر از ۱۰۰ به بیش از ۱۵۰ تن در هکتار موجب افزایش به ترتیب ۷۳ و بیش از ۱۰۰ درصدی پتانسیل غنی‌سازی در محیط خشکی شد. بیشترین میزان انتشار آلاینده‌های این گروه تأثیر شامل NO_x و NH_3 در قائن مربوط به سطح کودی بیش از ۱۵۰ تن کود دامی در هکتار به ترتیب با ۲/۷۴ و ۹/۸۲ واحد معادل کیلوگرم NO_x به ازای یک تن گل بود. بیشترین میزان انتشار این آلاینده‌ها در شهرستان تربت حیدریه نیز برای همان سطح کودی (بیش از ۱۵۰ تن کود دامی در هکتار) به ترتیب برابر با ۶/۳۹ و ۲۲/۸۹ واحد معادل کیلوگرم NO_x به ازای یک تن گل حاصل گردید (شکل ۳- الف و ب).

شخم با گاواهن برگردان‌دار در یک هکتار باعث انتشار ۲۶/۷۵ کیلوگرم کربن به اتمسفر شد که معادل ۹۸ کیلوگرم معادل CO_2 می‌باشد. لال (Lal, 2004) کربن انتشار یافته به اتمسفر تحت تأثیر شخم را ۱۵/۲ کیلوگرم به ازای یک هکتار (۵۵/۷ کیلوگرم معادل CO_2 به ازای یک هکتار) گزارش کرد. خنالی و همکاران (Khanali et al., 2016) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید زعفران طی یک دوره شش ساله را ۱۰۸۷۹۷ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار گزارش نمودند.

علاوه بر افزایش غلظت CO_2 ، بررسی‌ها نشان داده است که غلظت N_2O در اتمسفر از ۲۷۵ به ۳۱۹ پی‌پی‌بی افزایش یافته که این امر موجب تخریب لایه ازن شده است. پتانسیل گرمایش این گاز گلخانه‌ای ۳۱۰ برابر CO_2 است (Crutzen, 1981). خوشنویسان و همکاران (Khoshnevisan et al., 2013) خاطر نشان ساختند که مهمترین آلاینده انتشار یافته از کودهای شیمیایی که بالاترین تأثیر (با سهم ۹۷ درصد) را در تشدید پتانسیل گرمایش جهانی دارد، اکسید نیتروس است. میودری و همکاران (Moudry et al., 2013) بیان داشتند که انتشار N_2O به دلیل بالاتر بودن مصرف کود نیتروژن در بوم‌نظام‌های رایج به مراتب بالاتر از ارگانیک بود. بارتون و همکاران (Barton et al., 2008) گزارش نمودند اگرچه انتشار گازهای گلخانه‌ای بین نظام‌های مختلف گیاهی بسته به شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت می‌باشد، ولی نوع مدیریت تأثیر بسزایی بر میزان انتشار این گازها و در نتیجه پتانسیل گرمایش جهانی دارد. بر این اساس، مشخص است که نوع مدیریت فشرده‌تر نظام‌های تولید زعفران طی دوره هفت ساله در شهرستان تربت حیدریه باعث تشدید پتانسیل گرمایش جهانی نسبت به شهرستان قائن شده است.

نتایج بررسی‌ها مؤید این مطلب است که دلیل اصلی تشدید پتانسیل گرمایش جهانی در بوم‌نظام‌های کشاورزی مربوط به احتراق سوخت‌های فسیلی می‌باشد (Mila i Canals et al., 2006). بنابراین، با توجه به سهم بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای توصیه می‌شود از تنوع بخشیدن



شکل ۳. پتانسیل غنی‌سازی خشکی به ازای یک واحد کارکردی نظام‌های تولید زعفران در سطوح مصرف کود دامی در شهرستان‌های (الف) قائن و (ب) تربت حیدریه

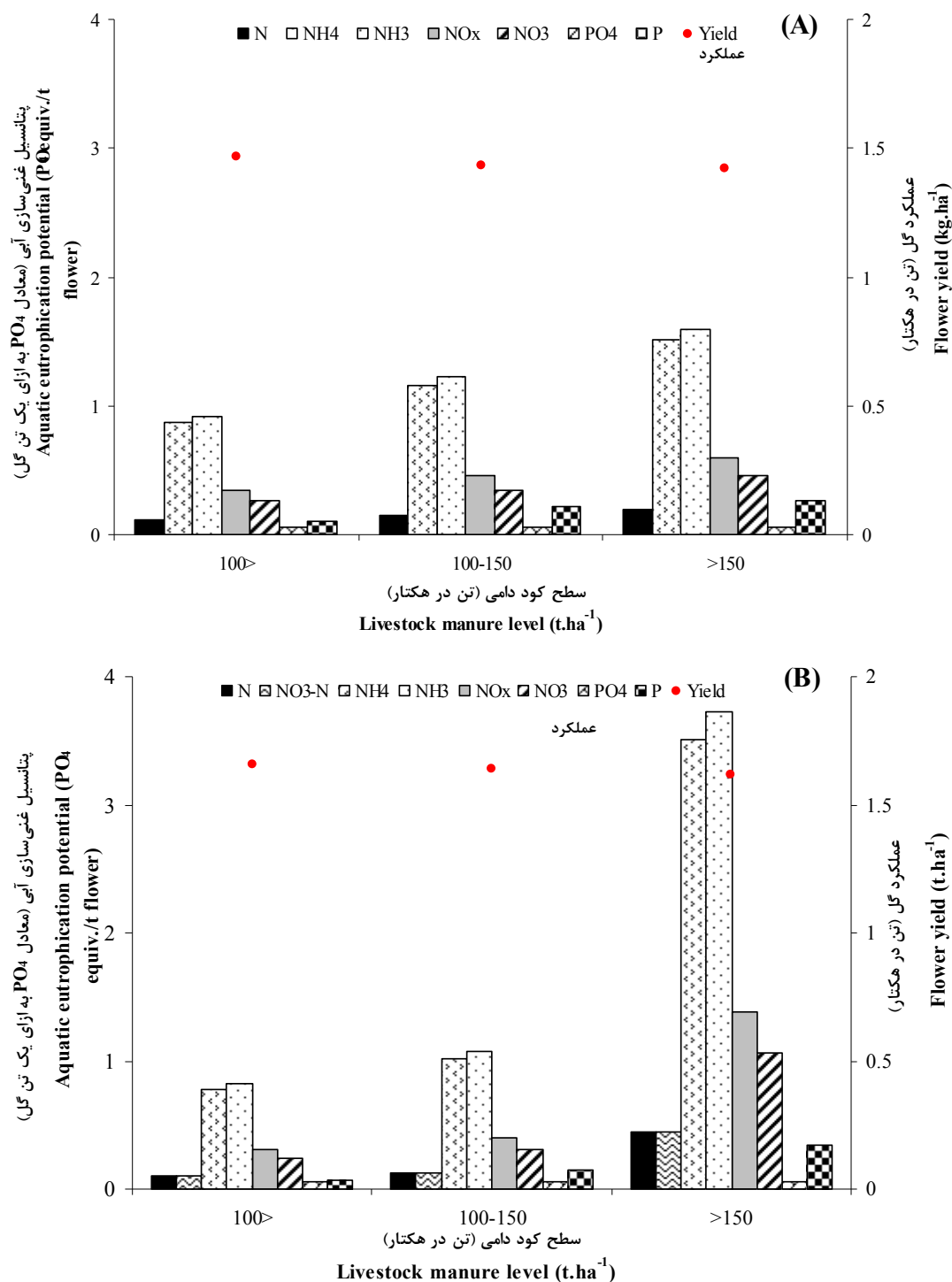
Fig. 3. Terrestrial eutrophication potential of saffron agroecosystems as a functional unit at levels of livestock manure in the two counties of (A) Ghaen and (B) Torbat-e Heydarieh

2009, et al.)، مشخص است که احتمال آلودگی آب‌های سطحی و زیرسطحی کشور به این عنصر به ویژه در نظام‌های تولید زعفران با در نظر گرفتن میزان مصرف کود دامی بسیار زیاد است.

افزایش بیش از حد مصرف فسفر و به تبع آن جذب بالای این عنصر توسط گیاه اثرات سوئی بر جذب سایر عناصر نیز می‌گذارد. در همین راستا، بوان و لگت (Boan and Legget, 2001) نتیجه گرفتند که غلظت بالای فسفر باعث کاهش جذب روی و کاهش انتقال آن به اندام‌های هوایی و تجمع در ریشه، ساقه و گره‌ها می‌شود. از طرف دیگر، از آنجا که مواد آلی قابلیت فراهمی فسفر را در خاک افزایش می‌دهند (Afif et al., 1993; Delgado et al., 2002)، می‌توان به جای مصرف کودهای شیمیایی فسفره، مصرف کودهای دامی را مدنظر قرار داد که این امر علاوه بر بهبود قابلیت فراهمی این عنصر در خاک و جلوگیری از هدرروی آن، کاهش بروز آلودگی‌های زیست محیطی را نیز موجب می‌گردد. والن و چانگ (Whalen and Chang, 2002) بیان داشتند که استفاده درازمدت از مواد آلی باعث نگهداری فسفر با پیوندهای کم‌انرژی‌تر شده و قابلیت فراهمی این عنصر را در نیمرخ خاک افزایش می‌دهد. مواد آلی می‌توانند به صورت پوششی محافظ در اطراف ذرات کود، به عنوان پیونددهنده فسفر در محل‌های تبادل آنیونی و یا از طریق واکنش با فسفر، موجب تشکیل ترکیبات فسفات آلی شده و با آزادسازی تدریجی فسفر در محلول خاک قابلیت استفاده از فسفر را برای گیاه افزایش دهند. ریوسو و دی-لوسیا (Russo and De Lucia, 2008) اظهار داشتند که برای کاهش اثرات زیست‌محیطی کودهای شیمیایی در خاک، پیش از هر گونه استفاده، بایستی میزان ماده آلی خاک تعیین گردد تا با توجه به خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، میزان و نوع کود مصرفی انتخاب شود. رومرو-گومز و همکاران (Romero-Gomez et al., 2012) با ارزیابی مدیریت کودهای شیمیایی اظهار داشتند که انتخاب و استفاده از مقادیر و انواع کودهای شیمیایی بایستی با دقت و به صورت بهینه انجام گیرد تا از انتشار آلاینده‌ها به اتمسفر و آب‌های زیرزمینی جلوگیری شود.

بالاترین پتانسیل گروه تأثیر غنی‌سازی در محیط آبی در بوم‌نظام‌های تولید زعفران در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه برای بیشترین میزان مصرف کود دامی به ترتیب برابر با ۴/۸۶۱ و ۱۰/۹۸۳ واحد معادل کیلوگرم PO_4 به ازای یک تن گل مشاهده گردید. با افزایش میزان مصرف کود دامی از کمتر از ۱۰۰ به بیش از ۱۵۰ تن کود دامی در هکتار پتانسیل این گروه تأثیر در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه به ترتیب ۷۳ و بیش از ۱۰۰ درصد تشدید شد. بالاترین میزان انتشار آلاینده‌های این گروه تأثیر شامل NH_4 ، N ، NO_3 ، NH_3 ، NO_x ، PO_4 و P در قائن به سطح کودی بیشتر از ۱۵۰ تن در هکتار به ترتیب با ۰/۱۹، ۰/۵۱، ۱/۶۰، ۰/۵۹، ۰/۰۶ و ۰/۲۶ واحد معادل کیلوگرم PO_4 به ازای یک تن گل اختصاص داشت. بالاترین میزان انتشار این آلاینده‌ها در تربت حیدریه نیز برای همان سطح کودی (بیشتر از ۱۵۰ تن کود دامی در هکتار) به ترتیب برابر با ۰/۴۵، ۳/۵۱، ۳/۷۳، ۱/۳۸، ۰/۵۹ و ۰/۳۴ واحد معادل کیلوگرم PO_4 به ازای یک تن گل حاصل گردید (شکل ۴- الف و ب).

در مقادیر متفاوت مصرف کود نیتروژن، انتشار آلاینده‌های مختلف به ویژه NH_3 ، NH_4 ، NO_3 و NO_x و آزادسازی مستقیم P به محیط باعث تشدید پتانسیل این گروه تأثیر در محیط‌های خشکی و آبی شد. از آنجا که انتشار NO_x عمدتاً وابسته به نقل و انتقال و استفاده از ماشین‌آلات است (Brenttrup et al., 2004a)، لذا میزان انتشار این آلاینده برای محیط خشکی به مراتب بالاتر از آبی بود. فسفر به عنوان اصلی‌ترین عامل تشدیدکننده غنی‌سازی در بیشتر بوم‌نظام‌های آبی دنیا مطرح می‌باشد (Charles et al., 2006). خوشنویسان و همکاران (Khoshnevisan et al., 2013) بیان داشتند که در میان نهادهای مصرفی، مهم‌ترین عامل مؤثر در تشدید پتانسیل گروه تأثیر غنی‌سازی به فسفات با سهم ۶۸ درصد اختصاص دارد. فسفر محلول مورد نیاز برای اکثر محصولات کشاورزی ۰/۲-۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است که در این غلظت، گیاهان قادرند تا بالاترین میزان محصول را تولید نمایند (Riemersma et al., 2006; Fageria, 2009). لذا با توجه به پتانسیل بالای خاک‌های کشور در تأمین نیاز گیاهان از نظر فسفر (Mirbagheri et al., 2012) و آستانه غنی‌سازی (۰/۰۲-۰/۱ میلی‌گرم در لیتر) (Kronvang



شکل ۴. پتانسیل غنی‌سازی آبی به ازای یک واحد کارکردی نظام‌های تولید زعفران در سطوح مصرف کود دامی در شهرستان‌های (الف) قائن و (ب) تربت حیدریه

Fig. 4. Aquatic eutrophication potential of saffron agroecosystems as a functional unit at levels of livestock manure in the two counties of (A) Ghaen and (B) Torbat-e Heydarieh

معادل کیلوگرم SO₂ به ازای یک تن گل بدست آمد. افزایش میزان مصرف کود دامی از کمتر از ۱۰۰ تن به بیش از ۱۵۰ تن در هکتار، موجب تشدید پتانسیل این گروه تأثیر برای شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه به

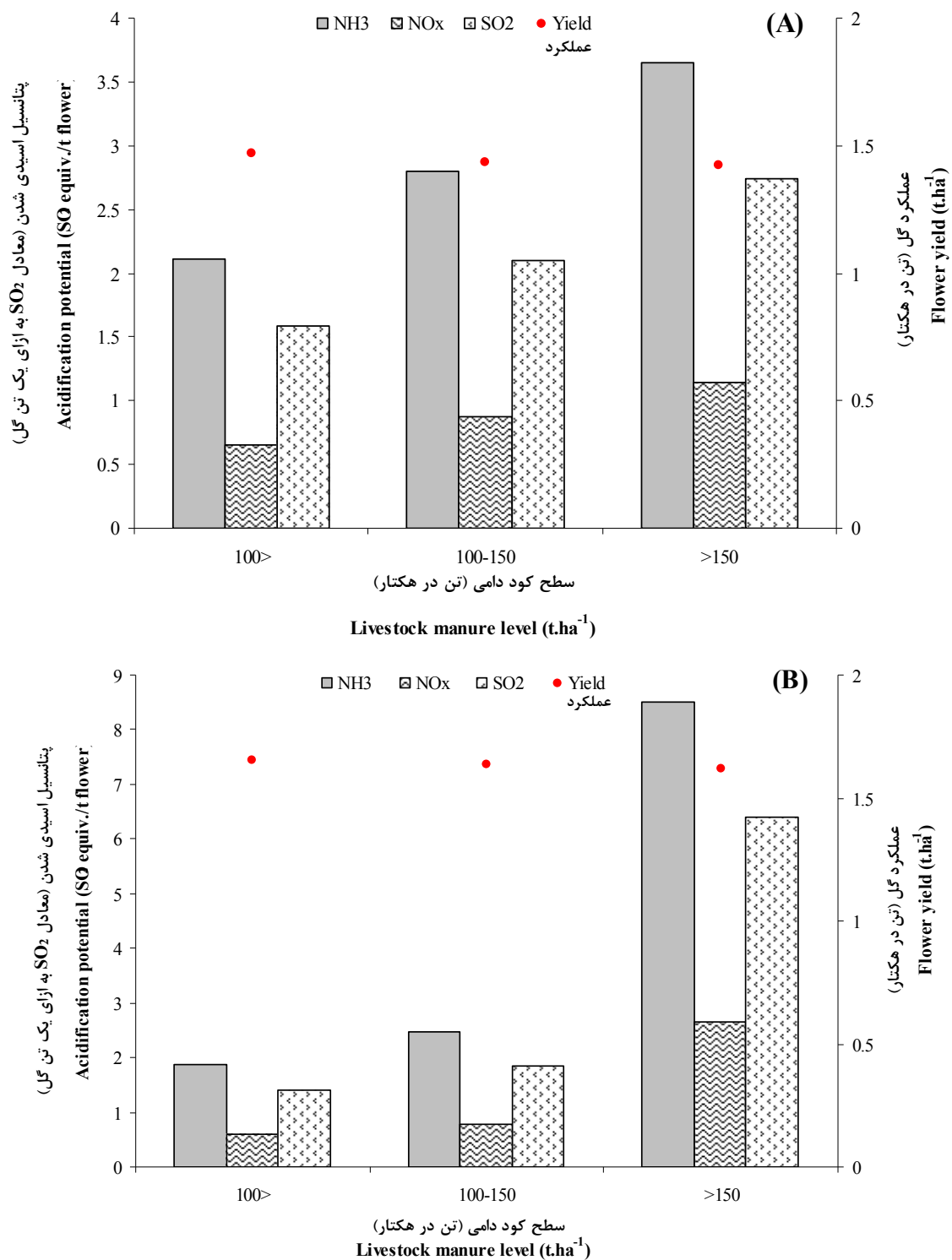
پتانسیل اسیدی شدن: بیشترین پتانسیل گروه تأثیر اسیدی شدن در نظام‌های تولید زعفران در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه برای بالاترین سطح کودی (بیشتر از ۱۵۰ تن در هکتار) به ترتیب با ۷/۵۳۶ و ۱۷/۵۶۶ واحد

آب و مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنه را نیز به حداقل می‌رساند.

شاخص نرمال‌شده: بیشترین شاخص نرمال شده در نظام‌های تولید زعفران در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه به بالاترین سطح کودی (بیش از ۱۵۰ تن کود دامی در هکتار) به ترتیب برابر با ۱/۱۹ و ۲/۷۳ به ازای یک تن گل اختصاص داشت. با افزایش میزان مصرف کود دامی از کمتر از ۱۰۰ به بیش از ۱۵۰ تن کود دامی در هکتار شاخص نرمال شده در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه به ترتیب ۷۴ و بیش از ۱۰۰ درصد افزایش یافت. سهم گروه‌های تأثیر مورد مطالعه شامل غنی‌سازی خشکی، غنی‌سازی آبی، گرمایش جهانی و اسیدی شدن از کل شاخص نرمال شده در شهرستان قائن در بالاترین سطح کودی (بیش از ۱۵۰ تن کود دامی در هکتار) به ترتیب برابر با ۰/۲۱، ۰/۵۷، ۰/۲۶ و ۰/۱۶ به ازای یک تن گل بود. سهم این گروه‌ها از این شاخص در شهرستان تربت حیدریه در همین سطح کودی به ترتیب برابر با ۰/۴۸، ۲/۷۳، ۰/۶۰ و ۰/۳۷ به ازای یک تن گل تعیین گردید (شکل ۶- الف و ب).

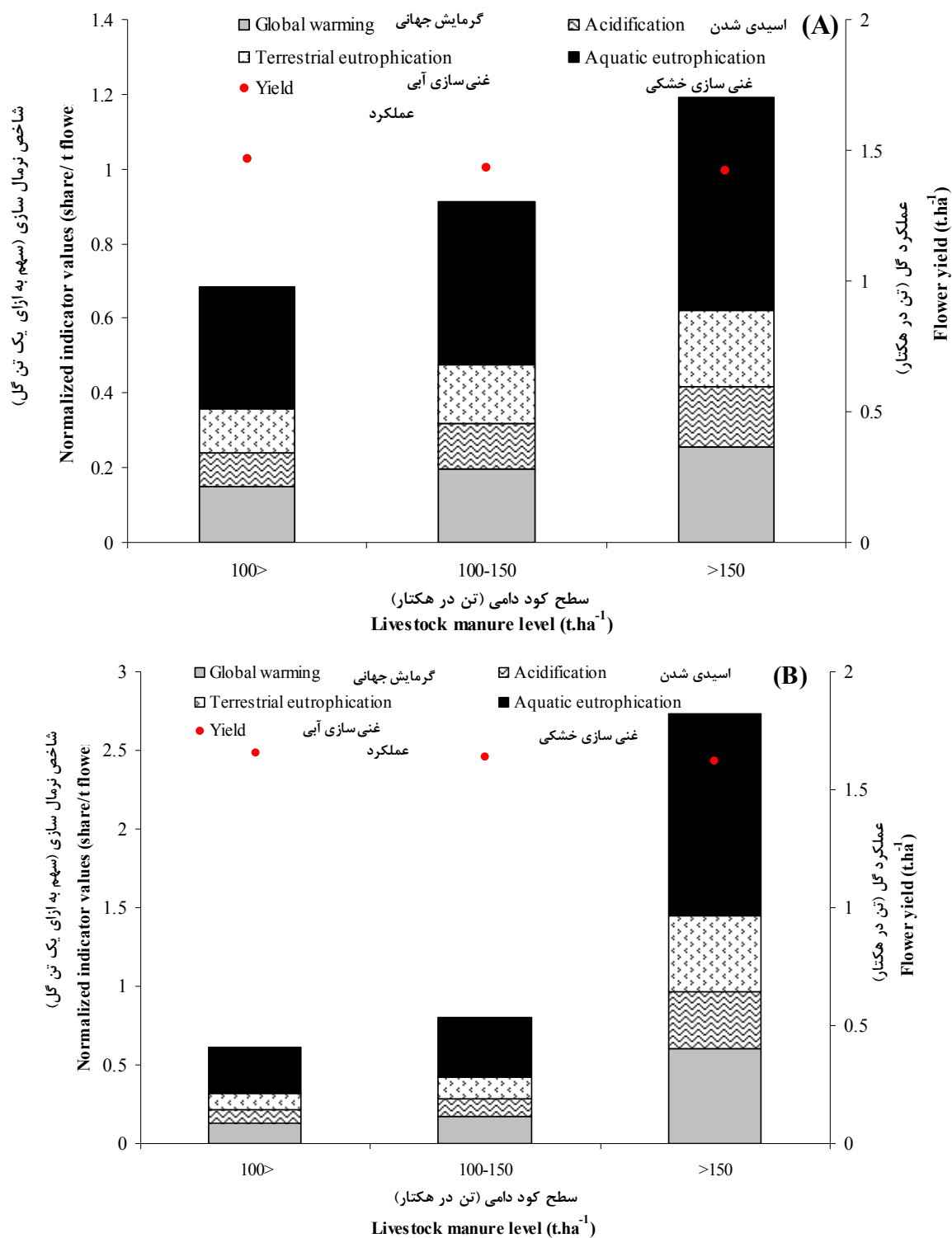
ترتیب برابر با ۷۳ و بیش از ۱۰۰ درصد گردید. بالاترین میزان انتشار آلاینده‌های این گروه تأثیر شامل NH_3 ، NOx و SO_2 برای سطح کودی بیش از ۱۵۰ تن کود دامی در هکتار به ترتیب با ۳/۶۵، ۱/۱۴ و ۲/۷۴ واحد معادل کیلوگرم SO_2 به ازای یک تن گل حاصل گردید. بیشترین میزان انتشار این آلاینده‌ها در شهرستان‌های تربت حیدریه نیز مربوط به همان سطح کودی (بیش از ۱۵۰ تن در هکتار) به ترتیب برابر با ۸/۵۲، ۲/۶۶ و ۶/۳۹ واحد معادل کیلوگرم SO_2 به ازای یک تن گل بود (شکل ۵- الف و ب).

افزایش مصرف کودهای نیتروژنه از طریق انتشار آلاینده‌های NH_3 و NOx باعث تشدید پتانسیل اسیدی شدن گردید، به طوری که با افزایش مصرف کود دامی، انتشار این آلاینده‌ها به صورت خطی افزایش یافت. برخی محققان دلیل این انتشار را به تبخیر نیتروژن به فرم آمونیاک و اکسیدهای نیتروژن نسبت دادند (Fallahpour et al., 2012). بنا بر عقیده ماهر و همکاران (Mahler et al., 1994) با توجه به فشارهای رو به افزایش اقتصادی و زیست محیطی بر بوم‌نظام‌های زراعی رایج، به منظور توسعه پایدار می‌بایست تحقیقات گسترده‌تری جهت افزایش کارایی و بهره‌وری نیتروژن به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک انجام شود. بدین ترتیب، به نظر می‌رسد که از اعمال مدیریت‌های کم‌نهاد و ارگانیک با تأکید بر انتخاب تناوب زراعی مناسب، کاهش کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن و افزایش مصرف نهاده‌های آلی و جایگزین کودهای شیمیایی در مزارع زعفران به ویژه در شهرستان تربت حیدریه می‌توان به عنوان راهکارهایی اکولوژیک برای تخفیف پتانسیل اسیدی شدن بهره جست. نمک و همکاران (Nemecek et al., 2011) نیز بهره‌گیری از مدیریت ارگانیک را به عنوان راهکاری برای حفظ محیط زیست معرفی نمودند. همچنین توصیه نظام‌های مبتنی بر تناوب زراعی مناسب در این مناطق، علاوه بر ایجاد ثبات تولید، مشکلات ناشی از الگوهای کشت نادرست، افزایش مصرف



شکل ۵. پتانسیل اسیدی شدن به ازای یک واحد کارکردی نظام‌های تولید زعفران در سطوح مصرف کود دامی در شهرستان‌های (الف) قائن و (ب) تربت حیدریه

Fig. 5. Acidification potential of saffron agroecosystems as a functional unit at levels of livestock manure used in the two counties of (A) Ghaen and (B) Torbat-e Heydarieh



شکل ۶. شاخص نرمال شده به ازای یک واحد کارکردی نظام‌های تولید زعفران در سطوح مصرف کود دامی در شهرستان‌های (الف) قائن و (ب) تربت حیدریه

Fig. 6. Normalized indicator values of saffron agroecosystems as a functional unit at levels of livestock manure in the two counties of (A) Ghaen and (B) Torbat-e Heydarieh

دامی در هکتار) برابر با ۱/۳۴ و ۳/۱۸ EcoX به ازای یک تن گل محاسبه گردید. دامنه شاخص بوم‌شناخت در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه به ترتیب ۰/۷۶-۱/۳۴

شاخص بوم‌شناخت: بالاترین مجموع شاخص بوم‌شناخت در نظام‌های تولید زعفران در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه برای بالاترین سطح کودی (بیش از ۱۵۰ تن کود

(Cellura et al., 2012) خاطر نشان ساختند که مطالعه شاخص اکولوژیکی LCA را بایستی به عنوان راهکاری برای ارزیابی بوم‌نظام‌های زراعی مدنظر قرار داد.

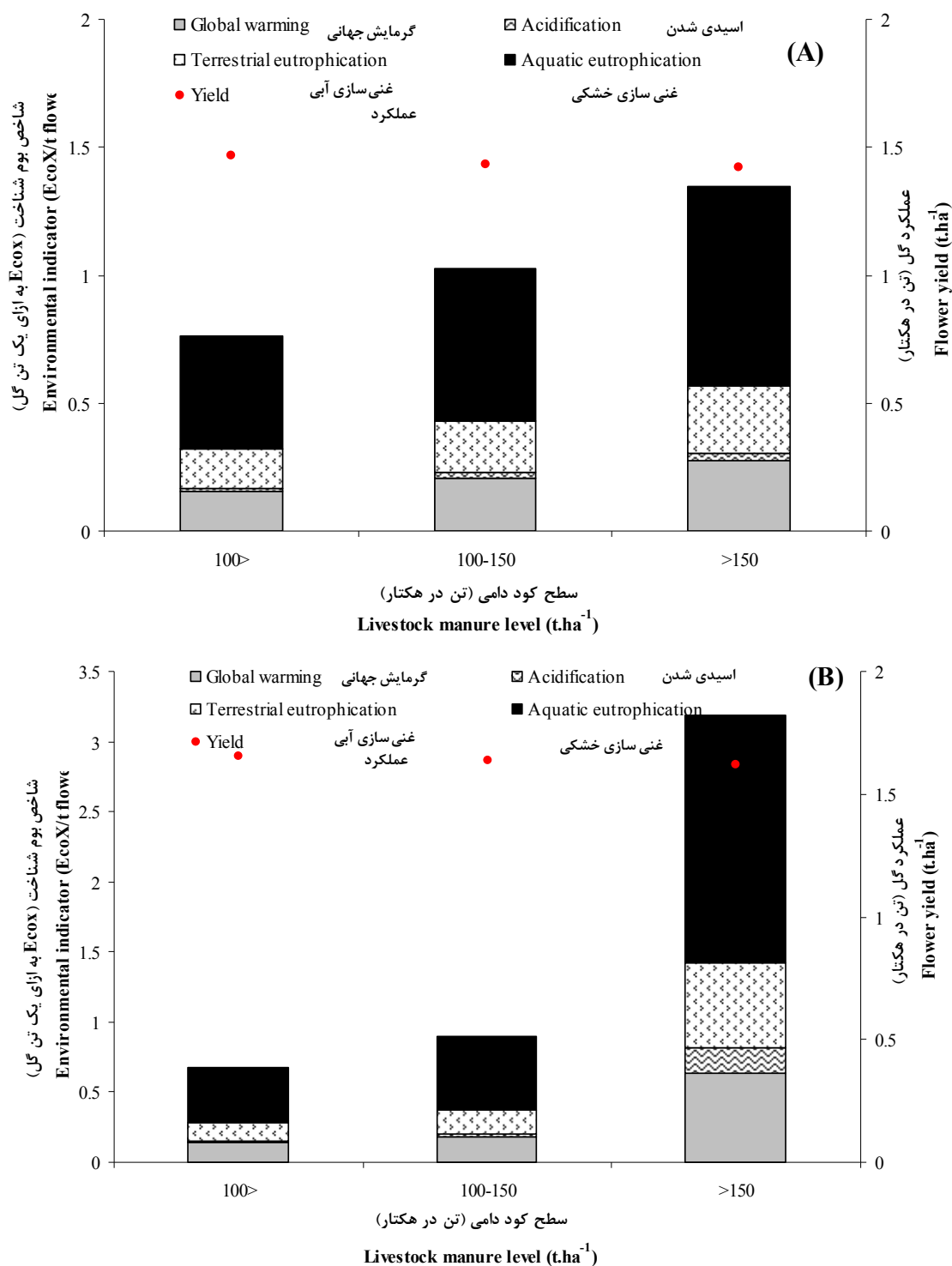
نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش مصرف کود دامی و سایر حاصلخیزکننده‌های خاک و بکارگیری ماشین‌آلات، عملکرد گل زعفران کاهش یافت.

در بین گروه‌های مختلف تأثیر، بالاترین اثرات زیست محیطی برای غنی‌سازی در محیط آبی حاصل شد. اثرات زیست محیطی به دلیل مصرف بالاتر نهاده‌ها در شهرستان تربت حیدریه به مراتب بالاتر از قائن بود. بدین ترتیب، به منظور کاهش اثرات زیست محیطی توصیه می‌شود که از مدیریت حاصلخیزی خاک بر مبنای بهره‌گیری از اصول اکولوژیک، خاکورزی کاهش یافته و همچنین وارد کردن گیاهان مختلف در تناوب زراعی و کاشت زعفران در زیر سایه‌انداز درختان میوه، به ویژه در شهرستان تربت حیدریه بهره‌گیری شود. البته این راهکارها با ارتقاء تنوع کارکردی، پایداری نظام‌های تولید را نیز به دنبال خواهد داشت.

و EcoX ۰/۶۸-۳/۱۸ به ازای یک تن گل حاصل شد. سهم گروه‌های تأثیر مورد مطالعه شامل غنی‌سازی خشکی، غنی‌سازی آبی، گرمایش جهانی و اسیدی شدن از مجموع شاخص بوم‌شناخت در شهرستان قائن به ترتیب ۱۹، ۵۸، ۲۰ و ۲ درصد تعیین گردید. سهم این گروه‌ها از مجموع شاخص بوم‌شناخت در شهرستان تربت حیدریه به ترتیب برابر با ۱۹، ۵۵، ۲۰ و ۶ درصد بود. با افزایش میزان مصرف کود دامی از کمتر از ۱۰۰ به بیش از ۱۵۰ تن در هکتار مجموع شاخص بوم‌شناخت در شهرستان‌های قائن و تربت حیدریه به ترتیب ۷۶ و بیش از ۱۰۰ درصد افزایش یافت (شکل ۷- الف و ب).

بایستی توجه گردد که بوم‌نظام‌های زراعی با عملکرد بالا الزاماً در تضاد با مشکلات زیست‌محیطی نیستند، ولی بکارگیری بیش از حد نهاده‌ها شامل سوخت و مصرف کودهای مختلف آلی و شیمیایی با تشدید انتشار آلاینده‌های مختلف، افزایش تلفات نیتروژن و کاهش کارایی مصرف این عنصر، تشدید آلودگی‌های زیست محیطی را موجب می‌شود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود جهت تخفیف اثرات زیست محیطی نظام‌های زراعی، افزودن متناسب عناصر غذایی بر مبنای نیاز گیاه، شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک مدنظر قرار گیرد (Brentrup et al., 2004b). ایریارت و همکاران (Iriarte et al., 2010) با بررسی اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید آفتابگردان و کلزا تأکید کردند که بالاترین اثرات زیست محیطی برای گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی و غنی‌سازی 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) دریافت که فشرده‌گی عملیات زراعی همبستگی قوی با درجه اثرات زیست محیطی داشت. برنترپ و همکاران (Brentrup et al., 2004b) با ارزیابی وضعیت نظام‌های تولید محصولات کشاورزی با استفاده از LCA خاطر نشان کردند که در مقادیر پایین مصرف کود، شاخص بوم‌شناخت پایین بود و با افزایش مصرف کود، این شاخص تشدید گردید. کلیورا و همکاران



شکل ۷. مجموع شاخص بوم‌شناخت به ازای یک واحد کارکردی نظام‌های تولید زعفران در سطوح مصرف کود دامی در شهرستان‌های (الف) قائن و (ب) تربت حیدریه

Fig. 7. Environmental indicator of saffron agroecosystems in functional unit at levels of livestock manure in the two counties of (A) Ghaen and (B) Torbat-e Heydarieh

- Afif, E., Matar, A., Torrent, J., 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 756-760.
- Ait-aubahou, A., El-otmani, M., 1999. Saffron cultivation in Morocco. In: M. Negbi (Ed.). *Saffron*. Harwood Academic Publication, Amsterdam. p. 154.
- Anonymous. 2012. Non-oil exports of 8.6 billion dollars in the first quarter of the year <files.spac.ir>. [in Persian]
- Bakhtiari, A.A., Hematian, A., Sharifi, A., 2015. Energy analyses and greenhouse gas emissions assessment for saffron production cycle. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22(20), 16184-16201.
- 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., Barton, L., Carter, D., 2008. Global warming potential of wheat production in Western Australia: A life cycle assessment. *Water Environ. J.* 22, 206-216.
- Boan, L.C., Legget, G.E., 2001. Phosphorus and zinc concentrations in Russet burbank potato tissue in relation to development of zinc deficiency symptoms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 28, 229-232.
- Bonesmo, H., Skjelvåg, A.O., Janzen, H.H., Klakegg, O., Einar Tveito, O.E., 2012. Greenhouse gas emission intensities and economic efficiency in crop production: a systems analysis of 95 farms. *Agric. Syst.* 110, 142-151.
- Bouwman, A.F., 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In: A.F. Bouwman (Ed.), *Soils and the greenhouse effect* (pp. 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., Palliere, C., 2008. GHG emissions and energy efficiency in European nitrogen fertiliser production and use. *Proc. International Fertiliser Society*, December 11, York, UK.
- Brentrup, F., Kusters, J., Kuhlmann, H., Lammel, J., 2004a. Environmental impacts assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology, I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *Europ. J. Agron.* 20, 247-264.
- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., Kuhlmann, H., 2004b. 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.
- Cellura, M., Longo, S., Mistretta, M., 2012. Life Cycle Assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study. *J. Clean. Prod.* 28, 56-62.
- Charles, R., Jolliet, O., Gillard, G., Pellet, D., 2006. Environmental analysis of intensity level in wheat production using life cycle assessment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 113, 216-225.
- Cronbach, L.J., 1951. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika.* 16(3), 297-334.
- 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* (pp. 17-44). New York: Wiley.
- Delgado, A., Madrid, A., Kassem, S., Andreu, L., Campillo, M.C., 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. *Plant Soil.* 245, 277-286.
- Dyer, J.A., Desjardins, R.L., 2003. The impact of farm machinery management on greenhouse gas emissions from Canadian agriculture. *J. Sustain. Agric.* 20, 59-74.
- Esmailpour, B., Khorramdel, S., Amin Ghafari, A., 2015. Study of environmental impacts for potato Agroecosystems of Iran based on nitrogen fertilizer by using Life Cycle Assessment (LCA) methodology. *Electronic Journal of Crop Production* 8(3), 199-224. [in Persian with English Summary]
- Fageria, N.K., 2009. *The use of nutrients in plants*. Taylor & Francis Group, CRC Press, 430 p.
- 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. Sustain.* 14, 979-992.
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R.B.H., Christiansen, K., Klüppel, H.J., 2006. The new international standards for life cycle assessment: ISO14040 and ISO14044. *Int. J. Life Cycle Assess.* 11(2), 80-85.
- Guinée, J.B., 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.
- Hayashi, K., 2005. Practical implications of functional units in life cycle assessment for horticulture: Intensiveness and environmental impacts (Vol. 1, pp. 368-371). LCM: 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: 2006 (E) Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework.
- Kafi, M., Rashed Mohasel, M.H., Koocheki, A., Mollafilabi, A., 2002. Saffron, Production and Processing. Zaban va Adab Press, Iran. 276 pp. (In Persian).
- Khanali, M., Movahedi, M., Yousefi, M., Jahangiri, S., Khoshnevisan, B., 2016. Investigating energy balance and carbon footprint in saffron cultivation– A case study in Iran. *J. Clean. Prod.* 115(1), 162-171.
- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Amin Ghafari, A., 2014. Evaluation of environmental impacts for wheat Agroecosystems of Iran by using Life Cycle Assessment methodology. *Cereal Res.* 4(1), 27-44. [in Persian with English Summary]
- Khorramdel, S., Ghorbani, R., Amin Ghafari, A., 2015. Evaluation of environmental impacts for wheat Agroecosystems of Iran by using Life Cycle Assessment methodology. *J. Plant Prod. Res.* 22(1), 243-264. [in Persian with English Summary]
- Khorramdel, S., Shabahng, S., Amin Ghafari, A., 2016. Study of environmental impacts for sugar beet agroecosystems in Khorasan Province by using Life Cycle Assessment (LCA). Final Report, College of Agriculture, Ferdowsi University of Masshad, Iran. [in Persian with English Summary]
- Khoshnevisan, B., Rafiei, S., Omid, M., Keyhani, A., Movahedi, M., 2013. Assessing of energy indices and environmental impacts of potato production (Case study: Fereydoonshahr region, Isfahan province). *Iran. J. Biosyst. Eng.* 44(1), 57-66. [in Persian with English Summary]
- Kopiński, J., 2012. Realization of environmental and economic objectives by the farms of various specialization directions (in Polish). *Problems Agric. Eng.*, 2: 37-45.
- Kronvang, B., Rubak, G.H., Heckrath, G., 2009. International phosphorus workshop: Diffuse phosphorus loss to surface water bodies- risk assessment, mitigation options, and ecological effects in river basins. *J. Environ. Qual.* 38, 1924-1929
- Lal, R., 2004. Carbon emission from and farm operations. *Environ. Int.* 30, 981-990.
- Mahler, R.L., Koehler, F.E., Lutcher, L.K., 1994. Nitrogen source, timing of application and placement: Effects on winter wheat production. *Agron. J.* 86, 637-642.
- Mila i Canals, L., Burnip, G.M., Cowell, S.J., 2006. Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): Case study in New Zealand. *Agric. Ecosyst. Environ.* 114, 226-238.
- Mirbagheri, E., Abbaspour, A., Rohani, A., Ghorbani, H., 2012. Evaluation of phosphorus status in some potato fields of Mojen region in Semnan Province. *Iran. J. Soil Res.* 26(3), 235-243. [in Persian with English Summary]
- 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]
- Mollafilabi, A., Khorramdel, S., Amin Ghafari, A., Hosseini, M., 2014. Evaluation of environmental impacts for saffron agroecosystems of Khorasan based on nitrogen fertilizer by using Life Cycle Assessment (LCA). *J. Saffron Res.* 2(2), 165-179. [in Persian with English Summary]
- Monti A., Fazio S., Venturi G., 2009. Cradle-to-farm gate life cycle assessment in perennial energy crops. *Europ. J. Agron.* 31, 77-84.
- Moudrý, J., Jelínková, Z., Plich, 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., Dubois, D., Huguenin-Elie, O., and Gaillard, G., 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agric. Syst.* 104, 217-232.
- Nikkhah, A., Taheri-Rad, A.R., Khojastehpour, M., Emadi, B., Khorramdel, S., 2015. Environmental impacts of peanut production system using life cycle assessment methodology. *J. Clean. Prod.* 92, 84-90.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., Karadeniz, F. 2004. Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy Convers. Manag.* 45, 1821-1830.
- 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
- Riemersma, S., Little, J., Ontkian, G., Moskal-Hébert, T., 2006. Phosphorus Sources and Sinks in Watersheds: A Review. Alberta Soil Phosphorus Limits Project.
- Risoud, B., 2000. Energy efficiency of various French farming systems: questions and sustainability. In: Int. Conference Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use, Organized by Wageningen University, Netherlands, May 18–20.
- Romero-Gomez, M., Suarez-Rey, E.M., Anton, A., Castilla, N., Soriano, T., 2012. Environmental impact of greenhouse and open-field cultivation using a life cycle analysis: the case study of green bean production. *J. Clean. Prod.* 28, 63-69.
- Roy, P., Shimizu, N., Kimura, T., 2009. Life cycle inventory analysis of rice produced by local processes. *JSAM.* 67(1), 61–67.
- Russo, G., and De Lucia, B., 2008. Environmental evaluation by means of LCA regarding the ornamental nursery production in rose and sowbread greenhouse cultivation. *Acta Hort.* 801, 1597-1604.
- Saborbilandi, A., Vadiiei, A.R., 2007. The economic analysis of saffron and its impact on farmers income, The 6th National Conference on Agricultural Economic, Iran. [in Persian]
- Sahabi, H., Feizi, H., Karbasi, A., 2015. Is saffron more energy and economic efficient than wheat in crop rotation systems in northeast Iran? *Sustain. Prod. Consump.* 5, 29-35.
- Sampathu, S.R., Shivashankar, S., Lewis, Y.S., 1984. Saffron (*Crocus sativus* L.): cultivation, processing, chemistry and standardization. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 20, 123–157
- Sheng-Wei, N., Wang-Sheng, G., Yuan-Quan, C., Peng-Sui, A., 2010. Use of life cycle assessment methodology for determining phytoremediation potentials of maize-based cropping systems in fields with nitrogen fertilizer. *J. Clean. Prod.* 18, 1530-1534.
- Snedecor, G.W., Cochran, W.G., 1980. *Statistical Methods.* Iowa State University Press.
- Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., Jaggard, K., 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agric. Syst.* 85, 101–119.
- West, T.O., Marland, G., 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agric. Ecosyst. Environ.* 91, 217-232.
- Whalen, J.K., and Chang, C., 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33, 1011-1026.
- Zohary, D., Hopf, M., 1994. *Domestication of Plants in the Old World*, second ed. Clarendon Press, Oxford, pp. 189–190.



Environmental impacts assessment of saffron agroecosystems using life cycle assessment methodology: (Case study: Torbat-e Heydarieh and Ghaen counties)

Surur Khorramdel^{1*}, Leili Abolhassani² and Elahe Azam Rahmati³

1- Assistant Professor in Crop Ecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

3- Master of Agricultural Economics, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

*Corresponding author Email: khorramdel@um.ac.ir

Received 18 October 2014; Accepted 25 September 2016

Abstract

In order to assess the environmental impacts of saffron agroecosystems during the first to seventh years in the two counties of Ghaen and Torbat-e Heydariyeh as two important poles of saffron production at different levels of inputs and livestock manure (less than 100, 100-150 and more than 150 t.ha⁻¹), a study by using life cycle assessment (LCA) was conducted in 2015. Based on ISO14044 method, LCA was computed in four steps including goal definition and scoping, inventory analysis, life cycle impact assessment (such as global warming, terrestrial eutrophication, aquatic eutrophication and acidification categories) and integration & interpretation. Functional unit was considered as one ton flower. The results showed that consumption of inputs such as fuel, livestock manure and chemical fertilizer in Torbat-e Heydariyeh was higher than Ghaen. The highest flower yield in Ghaen and Torbat-e Heydariyeh counties were obtained at the lowest levels of livestock manure (with 1.47 and 1.66 t.ha⁻¹, respectively). The maximum value of aquatic eutrophication potential in Ghaen and Torbat-e Heydariyeh counties were related to the highest livestock manure level with 4.861 and 10.983 PO₄ equiv./t flower, respectively. The highest of environmental indicator in the two counties of Ghaen and Torbat-e Heydariyeh were calculated for the maximum livestock manure with 1.34 and 3.18 Ecox per one ton of flower. Considering the high levels of environmental impact of saffron agroecosystems especially in Torbat-e Heydarieh, it is suggested to apply strategies such as intercropping, minimum tillage, and optimum levels of organic fertilizers.

Keywords: Eutrophication, Functional diversity, Global warming, Sustainability in Agroecosystems