



## مقاله پژوهشی

# ارزیابی شاخص ردپای کربن و انتشار اکسید نیتروس برای نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان

سرور خرم دل<sup>۱\*</sup>، مهدی نصیری محلاتی<sup>۲</sup>، عبدالله سلطان احمدی<sup>۳</sup>، مینا هوشمند<sup>۴</sup> و محمد جواد مصطفوی<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۷ شهریور ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: ۱۱ آبان ۱۳۹۹

خرم دل، س.، نصیری محلاتی، م.، سلطان احمدی، ع.، هوشمند، م.، مصطفوی، م. ج. ۱۴۰۰. ارزیابی شاخص ردپای کربن و انتشار اکسید نیتروس برای نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان. زراعت و فناوری زعفران، ۹(۳): ۲۴۹-۲۶۷.

## چکیده

ردپای کربن (CF) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای واحد سطح در بوم‌نظام‌های کشاورزی است. از آنجا که نهاده‌های ورودی در بوم‌نظام‌های زراعی نقش مهمی در انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر دارد، شاخص اکولوژیکی CF برای ارزیابی تبعات زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از این مطالعه، برآورد انتشار  $N_2O$ ، ورودی‌های کربن ( $C_i$ )، خروجی‌های کربن ( $C_o$ )، CF و کارایی کربن (CE) در نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان شمالی، جنوبی و رضوی بود. همچنین آنالیز ارزیابی چرخه حیات برای کمی‌سازی و مقایسه اثر فعالیت‌های کشاورزی در نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان انجام گردید. گروه‌های تأثیر مورد بررسی شامل پتانسیل گرمایش جهانی، پتانسیل اسیدی شدن، پتانسیل اوتریفیکاسیون در زیرگروه‌های خشکی و آبی بود. نتایج نشان داد که کمترین پتانسیل گرمایش جهانی برای خراسان جنوبی برابر با  $3583/71$  کیلوگرم معادل  $CO_2$  به ازای یک کیلوگرم گل محاسبه گردید. کمترین شاخص بوم‌شناخت (EcoX) مربوط به استان خراسان جنوبی (با  $EcoX = 0/84$  به ازای یک کیلوگرم گل) بود. انتشار اکسید نیتروس در استان‌های خراسان جنوبی، رضوی و شمالی به ترتیب  $95974/51$ ،  $155468/7$  و  $161856/6$  کیلوگرم  $N_2O$  به ازای یک هکتار طی پنج سال برآورد گردید. بالاترین انتشار  $N_2O$  تحت تأثیر فرآیندهای آبشویی و تصعید برای استان خراسان شمالی (به ترتیب با  $0/58$  و  $11/63$  کیلوگرم  $N_2O$  به ازای یک هکتار) محاسبه شد. بالاترین ورودی‌ها و خروجی‌های کربن مربوط به خراسان شمالی به ترتیب با  $15135/56$  و  $117986/52$  کیلوگرم کربن به ازای یک هکتار بود. بیشترین ردپای کربن برای استان خراسان شمالی با  $7/8$  و بالاترین کارایی کربن برای خراسان جنوبی با  $0/18$  بدست آمد. مصرف سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی مهم‌ترین عامل انتشار  $CO_2$  در مزارع زعفران بود. بنابراین، انتخاب خاکورزی کاهش یافته، وارد کردن گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، گونه‌های پوششی و کودهای سبز در تناوب زراعی با زعفران و افزایش کارایی مصرف نیتروژن را می‌توان به عنوان راهکارهایی اکولوژیکی برای بهبود عملکرد اقتصادی همراه با کاهش تبعات زیست‌محیطی و تخفیف ردپای کربن در این سیستم‌های زراعی مدنظر قرار داد. بر این اساس، با بکارگیری راهکارهای زراعی-اکولوژیکی می‌توان بهبود عملکرد گل بدون تبعات زیست‌محیطی را در نظام‌های زراعی زعفران به طور کارا، موثر و مفید از نظر اقتصادی میسر نمود.

**کلمات کلیدی:** انتشار اکسید نیتروس، پتانسیل گرمایش جهانی، تبعات زیست‌محیطی، کارایی کربن، انتشار گازهای گلخانه‌ای.

۱ - دانشیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲ - استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳ - دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه آگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۴ - دانشجوی دکتری بوم‌شناسی، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\*- نویسنده مسئول: (khorramdel@um.ac.ir)

## مقدمه

می‌شود.

چنگ و همکاران (Cheng et al., 2015) با ارزیابی شاخص های ردپا و کارایی کربن برای محصولات کشاورزی چین، میانگین انتشار و کارایی کربن را برای بوم‌نظام‌های تولید برنج، گندم، ذرت و سویا به ترتیب ۲۴۷۲، ۷۹۴، ۷۸۱ و ۲۲۲ معادل کربن در هکتار و ۰/۳۷، ۰/۱۴، ۰/۱۲ و ۰/۱ تن معادل کربن به ازای هر کیلوگرم محصول گزارش کردند. در پژوهشی دیگر یان و همکاران (Yan et al., 2015) روی ردپای کربن برای تولید غلات دانه‌ای (شامل برنج، گندم و ذرت) در چین، نتیجه گرفتند با این‌که تولید غلات، ردپای کربن زیادی به همراه دارد، اما بخش زیادی از آن ناشی از مصرف کوه‌های شیمیایی نیتروژن‌دار بوده که دامنه‌ای از ۴۴ تا ۷۹ درصد کل ردپای کربن را شامل می‌شد. از سوی دیگر، مزارع کوچک انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری نسبت به مزارع با مساحت بیشتر داشتند. اگرچه تنها دو تا سه درصد از ردپای کربن در دو گیاه گندم و ذرت به آبیاری اختصاص داشت، اما آبیاری و انتشار مستقیم متان به اتمسفر در تولید برنج سهم قابل توجهی از ردپای کربن این محصول (به میزان ۱۹ تا ۲۵ درصد) را به خود اختصاص داد. عملیات کشاورزی با ماشین آلات نیز ۸ تا ۱۵ درصد از سهم ردپای کربن تولید را شامل می‌شد. همچنین دامنه ردپای کربن برای تولید محصولات گندم، ذرت و برنج به ترتیب  $۰/۱ \pm ۰/۶$ ،  $۰/۲ \pm ۰/۳$  و  $۰/۱ \pm ۲/۳$  معادل دی‌اکسید کربن در هکتار و دامنه کارایی کربن به ترتیب  $۰/۲ \pm ۰/۸$ ،  $۰/۳ \pm ۰/۶۶$  و  $۰/۲ \pm ۰/۳۳$  معادل دی‌اکسید کربن به ازای هر تن دانه محاسبه شد. چن و ژانگ (Chen & Zhang, 2010) شاخص‌های ردپا و کارایی کربن در تولید محصولات زراعی در چین را به ترتیب برابر با  $۰/۷۸$  تن معادل دی‌اکسید کربن در هکتار در سال و  $۰/۱۱$  تن معادل کربن به ازای هر تن زیست‌توده در سال محاسبه و گزارش کردند که بالاترین سهم انتشار کربن (۶۰ درصد) ناشی از

ردپای اکولوژیکی (EF)<sup>۱</sup> یکی از شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی شدت بهره‌برداری از منابع است که بصورت «مقدار مساحت لازم برای تامین نیازهای یک فرد و دفع ضایعات» تعریف و بر اساس واحد هکتار جهانی گزارش می‌شود (Gan et al., 2011; Gan et al., 2012; Liu et al., 2016). این مفهوم به بخش‌های مختلفی تعمیم داده شده و از مهم‌ترین آن‌ها که در مباحث تغییر اقلیم مطرح شده، ردپای کربن (CF)<sup>۲</sup> بوده و نشان‌دهنده مساحت زمین مورد نیاز (بر حسب هکتار) برای تولید و دفع دی‌اکسید کربن می‌باشد (Wiedmann & Minx, 2007). اگرچه کربن تنها ۰/۰۴ درصد از غلظت گازهای اتمسفر را شامل می‌شود، ولی تغییرات هرچند کوچک در این غلظت، می‌تواند اثرات بزرگی در محیط زیست ایجاد کند. محاسبه ردپای کربن در کشاورزی از طریق برآورد معادل کربن یا دی‌اکسید کربن منتشر شده از فعالیت‌های بکار گرفته شده در بوم‌نظام‌های زراعی طی عملیات کاشت، داشت، برداشت و حتی فرآیندهای پس از برداشت انجام می‌شود (Patel, 2006). بنابراین، در فعالیت‌های کشاورزی ردپای کربن در واقع، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر تحت تأثیر تولید محصولات کشاورزی است. واحد ردپای کربن، وزن (کیلوگرم یا تن) معادل کربن است که بر پایه گرمایش جهانی بکار می‌رود (Carbon Thrust, 2007). کارایی کربن (CE)<sup>۳</sup> شاخص اکولوژیکی دیگری در زمینه ارزیابی انتشار کربن از بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌باشد. این شاخص نشان‌دهنده میانگین تولید محصولات کشاورزی به ازای ورودی کربن بوده و بر حسب تن یا کیلوگرم زیست‌توده تولیدی به ازای تن یا کیلوگرم معادل ورودی کربن به بوم‌نظام بیان

۱- Ecological Footprint

۲- Carbon Footprint

۳- Carbon Efficiency

کاربردی استفاده می‌گردد. به دلیل این که نوع و مقدار نهاده‌های مورد استفاده در کشاورزی عواملی بااهمیت در تشدید آلودگی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر هستند، با استفاده از ارزیابی چرخه حیات می‌توان اثرات زیست‌محیطی محصولات کشاورزی را مطالعه و برآورد نمود (Khorramdel et al., 2019). نتایج مطالعه‌ای روی ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی تولید نیشکر در استان خوزستان نشان داد که الکتروسیته، کود نیتروژن و ماشین‌آلات کشاورزی بیشترین تأثیر را در تمامی گروه‌های تأثیر مورد مطالعه شامل تخلیه مواد غیرآلی، اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی، نقصان لایه ازن، مسمومیت انسان‌ها، مسمومیت آب‌های سطحی، مسمومیت آب‌های آزاد، مسمومیت خاک و اکسیداسیون فتوشیمیایی داشتند (Kaab et al., 2020). در بوم‌نظام‌های زعفران نیز مطالعاتی در خصوص ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات صورت گرفته است (Khorramdel et al., 2017; Khorramdel et al., 2019).

فعالیت‌های کشاورزی و تغییر اقلیم اثر متقابل قابل توجهی بر یکدیگر دارند؛ به طوری که با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی، تغییر اقلیم تشدید می‌شود که می‌تواند سبب بروز محدودیت‌هایی در فعالیت‌های کشاورزی و در نتیجه ایجاد زیان‌های اجتماعی و اقتصادی شود (Hamilton et al., 2016). بر این اساس، با توجه به اهمیت تولید زعفران و با در نظر گرفتن تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم، هدف از این پژوهش ارزیابی چرخه حیات و مقایسه اثرات زیست‌محیطی انتشار اکسید نیتروس، تعیین شاخص‌های کربن و محاسبه ردپای کربن در نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی بود.

### مواد و روش‌ها

اطلاعات مورد نیاز شامل میزان مصرف نهاده‌ها طی عملیات

فعالیت‌های زراعی در چین مربوط به مصرف کودهای شیمیایی برابر با ۰/۴۵ تن معادل کربن در هکتار (۰/۰۷ تن معادل کربن به ازای هر تن زیست‌توده تولیدی) بود. بخشائی و همکاران (Bakhshaei et al., 2016) نیز با ارزیابی ردپای کربن برای تعدادی از مهم‌ترین گیاهان زراعی ایران شامل گوجه‌فرنگی، یونجه، گندم، برنج، جو، ذرت، پنبه، کلزا و سویا نتیجه گرفتند از بین نهاده‌ها، مصرف کودهای شیمیایی با ۸۸/۵ درصد بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته و با پتانسیل گرمایش جهانی رابطه‌ای خطی و بسیار قوی ( $R^2=0/98$ ) داشت. پس از آن، سوخت‌های فسیلی، نیروی کارگری و سموم شیمیایی به ترتیب با ۹/۶، ۱/۱ و ۰/۸ درصد از پتانسیل گرمایش جهانی رتبه‌های بعدی را در انتشار گازهای گلخانه‌ای به خود اختصاص دادند.

بر اساس پیش‌بینی‌های هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، آسیب‌های تغییر اقلیم تا سال ۲۰۴۰ میلادی برای ایران به صورت کاهش نه درصدی و غیریکنواختی بارش‌ها، افزایش روزهای خشک (بدون بارش) و در عین حال، افزایش ۴۰ درصدی وقوع بارش‌های شدید و سیل‌آسا، افزایش یک درجه‌ای متوسط دمای سالانه، افزایش روزهای داغ (روزهای با دمای بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد)، کاهش تعداد روزهای یخبندان و در نهایت، افزایش خشکسالی بروز پیدا خواهد کرد (IPCC, 2019a; b). بنابراین، کشاورزی و کاشت محصولاتی همچون زعفران در ایران و به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با چالش‌ها و محدودیت‌های جدی مواجه خواهند شد، در حالی که اثر تغییر اقلیم بر کشت زعفران هم‌اکنون نیز بصورت محدودیت کشت و کار این گیاه در برخی از مناطق کشور بروز پیدا کرده است.

جهت تعیین و مقایسه اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های انسانی از ارزیابی چرخه حیات (LCA<sup>۲</sup>) نیز به عنوان راهکاری

۱- Inter-governmental Panel for Climate Change (IPCC)

۲- Life cycle assessment

نمونه برداری های مزرعه ای شامل اندازه گیری های مربوط به عملکرد گل (که پیش تر به شرح نحوه آن به پرداخته خواهد شد) و نیز برداشت بنه های دختری به منظور تعیین وزن و تعداد بنه های خواهری، به عنوان اطلاعاتی تکمیلی در خصوص برآورد هرچه دقیق تر وضعیت مربوط به عملکرد هر مزرعه بود. لازم به ذکر است با توجه به غیریکنواختی حاصل از مصرف سموم شیمیایی در تعداد زیادی از مزارع زعفران، سعی شد مزارع انتخابی عمدتاً بر اساس مدیریت زراعی بدون مصرف سموم متمرکز باشند. مجموع نهاده های مصرفی و عملکرد گل در نظام های تولید زعفران طی سال های اول تا پنجم در استان های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی به ازای هر هکتار در جدول ۱ نشان داده شده است.

کاشت، داشت، برداشت و جداسازی کلاله (اعم از نیروی انسانی، سوخت، نهاده های شیمیایی شامل NPK، علف کش ها، قارچ کش ها و آفت کش ها، آب و کود دامی) و عملکرد گل، برگ و بنه در واحد سطح زعفران (برای تمام سال های بهره برداری در مزارع پنج ساله)، از طریق تکمیل ۳۰ پرسشنامه در هر یک از استان های خراسان شمالی، جنوبی و رضوی طی سال های ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ و همچنین نمونه برداری از گل (در فصل گلدهی) و بنه های دختری (در اردیبهشت ماه) همان مزارع جمع آوری گردید. لازم به ذکر است اگرچه برخی مزارع سن بیشتری داشتند، ولی جهت ایجاد یکنواختی تنها پنج سال اول هر مزرعه مدنظر قرار گرفت. بر این اساس مشخص است مزارعی پنج ساله انتخاب شدند.

جدول ۱- مجموع پنج ساله نهاده های مصرفی و عملکرد گل زعفران در استان های خراسان به ازای واحد سطح

Table 1- Total five-year amounts of inputs and flower yield in saffron fields of Khorasan provinces per unit area (one hectare)

الف) مجموع * نهاده ها A) Total*inputs	خراسان جنوبی South Khorasan	خراسان رضوی Razavi Khorasan	خراسان شمالی North Khorasan
بنه مادری Mother corms (kg.ha <sup>-1</sup> )	5600±250	7666.67±320	10600.51±580
سوخت Fuel (L.ha <sup>-1</sup> )	336±14 <sup>a</sup>	580±27	680±30
کود دامی Cow manure (t.ha <sup>-1</sup> )	111.8±12	140±18	190±25
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers (kg.ha <sup>-1</sup> )			
الف) نیتروژن A) Nitrogen	278±20	447±18	465±26
ب) پتاسیم B) Potassium	140±13	280±17	460±22
ج) فسفر C) Phosphorus	277±17	447±22	465±19
آب Water (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	31300±900	35900±1100	38000±3100
ب) مجموع ستانده B) Total output			
عملکرد گل (kg.ha <sup>-1</sup> ) Flower yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	4452±580	4940±760	6850±1050
عملکرد بنه Corm yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	67558.14±740	115823.26±1209	262581.40±868
عملکرد برگ (kg.ha <sup>-1</sup> ) Leaf yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	4053.49±608	11869.4±475	25534.89±760

\* مجموع پنج ساله؛ <sup>a</sup> انحراف معیار.

\* The total of five years; <sup>a</sup> Standard deviation.

جهت محاسبه شاخص بوم‌شناخت (EcoX) که نشان‌دهنده مجموع تأثیرات زیست‌محیطی انتشار آلاینده‌ها است، پس از نرمال‌سازی مقادیر هر گروه تأثیر (Ni)، مجموع حاصلضرب هر کدام از این مقادیر در وزن آن‌ها (Wi) با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد. برای محاسبه Wi از مقادیر ارائه شده در منابع مختلف (Brentrup et al., 2004a; Wang et al., 2007) استفاده شد.

$$EcoX = \sum N_i W_i \quad (1)$$

میزان انتشار مستقیم و غیرمستقیم اکسید نیتروس تحت تأثیر مصرف کودهای شیمیایی با استفاده از معادلات ۲ و ۳ محاسبه گردید (Rochette, 2008).

$$N_2O_{Direct} = N_{NSF} \times EF \times \frac{44}{28} \times 310 \quad (2)$$

$$N_2O_{Indirect} = N_2O_L \times N_2O_V \times \frac{44}{28} \times 310 \quad (3)$$

در این معادلات،  $N_2O_{Direct}$ : انتشار مستقیم اکسید نیتروس (بر حسب  $kg N_2O ha^{-1}$ );  $N_{NSF}$ : میزان مصرف کود شیمیایی نیتروژن بر حسب  $kg ha^{-1}$ ;  $EF$ : فاکتور انتشار اکسید نیتروس،  $N_2O_{Indirect}$ : انتشار غیرمستقیم اکسید نیتروس (بر حسب  $kg N_2O ha^{-1}$ ) و  $N_2O_L$  و  $N_2O_V$ : به ترتیب انتشار اکسید نیتروس تحت تأثیر فرآیندهای آبشویی و تصعید هستند که با استفاده از معادلات ۴ و ۵ محاسبه شدند.

$$N_2O_L = N_f \times R_L \times EF_L \quad (4)$$

$$N_2O_V = N_f \times R_V \times EF_V \quad (5)$$

در این معادلات،  $N_f$ : مقدار مصرف کود نیتروژن بر حسب  $kg ha^{-1}$  و  $R_L$  و  $R_V$ : به ترتیب ضرایب انتشار در اثر آبشویی و تصعید،  $EF_L$  و  $EF_V$ : فاکتورهای انتشار بر اثر آبشویی و تصعید و  $R_{Volatilization}$  و  $R_{Leaching}$ : ضرایب انتشار  $N_2O$  تحت تأثیر آبشویی و تصعید می‌باشند (Helgason et al., 2005).

عملکرد گل طی فصل گلدهی با نمونه برداری از کودرات

به منظور برآورد اثرات زیست‌محیطی، روش ارائه شده در ISO14044 (Brentrup et al., 2004b; ISO, 2006) مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس این روش، LCA در چهار گام تعریف مرحله اهداف و تعریف حوزه عمل<sup>۱</sup>، آنالیز ممیزی چرخه حیات<sup>۲</sup>، ارزیابی تأثیر چرخه حیات<sup>۳</sup> و تلفیق و تفسیر نتایج<sup>۴</sup> محاسبه شد. سپس نهاده‌ها و آلاینده‌های انتشار یافته تعیین و بر حسب واحد کارکردی محاسبه شد (Brentrup et al., 2001). واحد کارکردی معادل یک کیلوگرم گل در نظر گرفته شد. گروه‌های تأثیر مورد مطالعه شامل پتانسیل گرمایش جهانی<sup>۵</sup>، اسیدی شدن<sup>۶</sup> و اوتریفیکاسیون در دو زیرگروه بوم‌نظام‌های آبی<sup>۷</sup> و خشکی<sup>۸</sup> (Finkbeiner et al., 2006; Brentrup et al., 2004b) تعیین و شاخص بوم‌شناخت<sup>۹</sup> (EcoX) محاسبه شد (Brentrup et al., 2004b). برآورد تأثیر گازهای مختلف بر اساس معادل دی‌اکسید کربن محاسبه و مجموع آن‌ها به‌عنوان پتانسیل گرمایش جهانی در نظر گرفته شد (Houghton et al., 1993); شاخص اسیدی شدن نیز بر اساس مقادیر املاح یا ترکیبات معدنی وارد شده به خاک برآورد گردید (Huijbregts, 2001). انتشار آمونیاک و اکسیدهای نیتروژن در اکوسیستم‌های خشکی و نیتروژن و فسفر به آب‌های سطحی برای اکوسیستم‌های آبی سبب تشدید اوتریفیکاسیون یا اختناق می‌گردد، از این رو میزان تأثیر این گروه تأثیر نیز بر اساس ضرایب مشخصی برآورد شد (Finnveden & Potting, 1999).

- ۱- Objectives and definition of scope
- ۲- Life cycle inventory (LCI) analysis
- ۳- Life cycle impact assessment (LCIA)
- ۴- Integration and interpretation
- ۵- Global warming potential
- ۶- Acidification potential
- ۷- Aquatic eutrophication potential
- ۸- Terrestrial eutrophication potential
- ۹- Environmental indicator (Eco-Index)

$$CE = C_o / C_i = 1 / CF \quad (۸)$$

در نهایت، ردپای کربن برای بوم‌نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان شمالی، جنوبی و رضوی محاسبه و نقشه‌هایی برای مقایسه این شاخص‌ها با استفاده از Arc GIS ترسیم شد. به منظور ترسیم دیگر شکل‌ها نیز از نرم‌افزار Sigmaplot ver.13 استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### ارزیابی چرخه حیات: کمترین پتانسیل گرمایش جهانی

برای نظام‌های تولید زعفران در مقایسه بین استان‌های خراسان، برای خراسان جنوبی برابر با ۳۵۸۳/۷۱ کیلوگرم معادل CO<sub>2</sub> به ازای یک کیلوگرم گل محاسبه گردید که به ترتیب ۱۹ و ۲۷ درصد کمتر از مقادیر محاسبه شده برای استان‌های خراسان رضوی و شمالی بود. بالاترین سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به N<sub>2</sub>O بود و پس از آن، برای CO<sub>2</sub> بدست آمد (جدول ۲).

یک متر مربع از هر مزرعه انجام شد. جهت تعیین عملکرد بنه و برگ، نمونه برداری در طول فصل رویشی از هر مزرعه پنج نمونه با استفاده از کوادرات یک متر مربعی انجام گرفت و عملکرد بیولوژیکی جهت برآورد خروجی کربن با استفاده از معادله ۶ تعیین گردید.

$$B_T = B_F + B_L + B_R \quad (۶)$$

در این معادله، B<sub>T</sub>: عملکرد بیولوژیکی، B<sub>F</sub>: عملکرد گل، B<sub>L</sub>: عملکرد برگ و B<sub>R</sub>: عملکرد بنه‌های دختری بر حسب کیلوگرم بر هکتار می‌باشند. با توجه به اینکه ۴۰ درصد از زیست‌توده گیاهی از کربن تشکیل شده است (Pietola & Alakukku, 2005; Bolinder et al., 2007)، میزان کربن زیست‌توده و سایر اندام‌ها محاسبه و کل خروجی‌های کربن برآورد گردید.

با تعیین ورودی‌ها (C<sub>i</sub>) و خروجی‌های کربن (C<sub>o</sub>) و محاسبه معادل دی‌اکسید کربن، ردپای کربن (CF) و کارایی کربن (CE) به ترتیب با استفاده از معادله‌های ۷ و ۸ برآورد شد (Lal, 2004a).

$$CF = C_i / C_o \quad (۷)$$

جدول ۲- مجموع پنج‌ساله شاخص‌های تأثیر چرخه حیات در گروه‌های مختلف تأثیر به ازای یک کیلوگرم گل زعفران در استان‌های خراسان  
Table 2- Total five-year life cycle impact indicators of different impact categories for one kg saffron flower in Khorasan provinces

گروه تأثیر Impact category	گرمایش جهانی Global warming (kg CO <sub>2</sub> eq.)	اسیدی شدن Acidification (kg SO <sub>2</sub> eq.)	اوتروفیکاسیون خشکی Terrestrial eutrophication (kg NO <sub>x</sub> eq.)	اوتروفیکاسیون آبی Aquatic eutrophication (kg PO <sub>4</sub> eq)	شاخص بوم‌شناخت (EcoX) Environmental indicator (EcoX)
خراسان جنوبی South Khorasan	3583.71±53.46*	5.17±0.11	0.40±0.075	1.281±0.0056	0.84±0.025
خراسان رضوی Razavi Khorasan	4271.87±42.15	5.71±0.95	3.44±0.0024	3.822±0.00012	1.22±0.014
خراسان شمالی North Khorasan	4559.51±23.18	6.33±0.34	3.54±0.0015	14.36±0.0019	3.065±0.018

\* انحراف معیار.  
\* Standard deviation.

کاربری اراضی از جمله مهم‌ترین عوامل انتشار CO<sub>2</sub> در بوم‌نظام

مصرف سوخت‌های فسیلی، اجرای خاکورزی فشرده و تغییر

شیمیایی، روش کاشت و فشردگی سیستم‌های تولید زعفران تحت تأثیر فعالیت‌هایی همچون خاکورزی و بکارگیری ماشین‌آلات (جدول ۱)، در استان‌های خراسان موجب ایجاد اختلاف در انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه تفاوت در پتانسیل گرمایش جهانی گردید.

کمترین پتانسیل اسیدی شدن در نظام‌های تولید زعفران مربوط به استان خراسان جنوبی با ۵/۱۷ کیلوگرم معادل SO<sub>2</sub> به ازای یک کیلوگرم گل بدست آمد که به ترتیب ۱۰ و ۲۲ درصد کمتر از استان‌های خراسان رضوی و شمالی برآورد گردید (جدول ۳). فعالیت‌ها و نهاده‌های کشاورزی یکی از مهمترین عوامل نشت نیتروژن به محیط زیست محسوب می‌شود (Billen et al., 2013). در مقایسه نهاده‌های تولید، مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن دار بیشترین تأثیر را بر تشدید پتانسیل گروه تأثیر اسیدی شدن دارد (ECETOC, 1994). به طوری که افزایش مصرف کودهای نیتروژن و بکارگیری ماشین‌آلات از طریق انتشار NH<sub>3</sub> و NO<sub>x</sub> پتانسیل این گروه تأثیر را تشدید می‌نماید. انتشار NH<sub>3</sub> عمدتاً ناشی از تولید و به کارگیری کودهایی با بنیان نیتروژن می‌باشد؛ به طوری که گزارش شده است، ۲۰ درصد از کل انتشار آلاینده‌های این گروه تأثیر را به خود اختصاص می‌دهد (Brentrup et al., 2004a; b). تولید کودهای شیمیایی و به ویژه کودهای نیتروژن علاوه بر مصرف انرژی و تشدید پتانسیل گرمایش جهانی (Barker-Reid et al., 2005)، یکی از مهمترین عوامل ایجاد آلودگی در آب‌های زیرزمینی و سطحی محسوب می‌شود (Zhang & Bexfield, 2008; Zhang et al., 2012).

پایین‌ترین پتانسیل اوتریفیکاسیون در بوم‌نظام‌های خشکی و آبی برای استان خراسان جنوبی به ترتیب با ۰/۴۰ کیلوگرم معادل NO<sub>x</sub> به ازای یک کیلوگرم گل و ۱/۲۸ کیلوگرم معادل PO<sub>4</sub> به ازای یک کیلوگرم گل تعیین گردید. مقادیر مربوط به پتانسیل اوتریفیکاسیون در بوم‌نظام‌های خشکی و آبی این

های کشاورزی محسوب می‌شوند (Dyer et al., 2003; Moudry et al., 2013). از جمله دلایل مصرف بالای سوخت در مزارع زعفران، بکارگیری ماشین‌آلات فرسوده و عدم تناسب بین قدرت ماشین‌آلات با عملیات زراعی و مساحت مزرعه می‌باشد. علاوه بر این، تأثیر بسزای کودهای شیمیایی نسبت به سایر نهاده‌ها و عملیات بکار گرفته شده در سیستم‌های زراعی در تشدید پتانسیل گرمایش جهانی توسط برخی دیگر از پژوهشگران از جمله ریچاردز (Richards, 2000)، کیوسترز و لامل (Kuesters & Lammel, 1999) و راتکه و دیپنبروک (Rathke & Diepenbrock, 2003) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. یک تا دو درصد از نیتروژن مصرفی به صورت N<sub>2</sub>O به اتمسفر انتشار می‌یابد که البته تا ۵ درصد هم گزارش شده است (Crutzen et al., 2008)، زیرا N<sub>2</sub>O تحت تأثیر دیتریفیکاسیون تولید و از مقدار کل نیتروژن مصرفی، ۳/۵ درصد به فرم N<sub>2</sub>O به محیط منتشر می‌شود. بارکر-رید و همکاران (Barker-Reid et al., 2005) انتشار سالانه N<sub>2</sub>O از مزارع گندم دیم استرالیا را ۰/۲-۰/۲۷ کیلوگرم N<sub>2</sub>O به ازای نیتروژن مصرفی در هکتار (۰/۰۶-۰/۱۱ درصد نیتروژن مصرفی) گزارش کردند. مصرف کودهای حیوانی مهم‌ترین منبع انتشار گاز متان است که برابر با ۰/۳۷ گرم به ازای یک کیلوگرم کود حیوانی در سال گزارش شده است (Van der Hoek & Van Schijndel, 2006). بر این اساس، بکارگیری تکنولوژی‌های پاک و سازگار با محیط‌زیست و اجرای خاک‌ورزی‌های حفاظتی می‌تواند نقش موثری در تخفیف غلظت گازهای گلخانه‌ای و کاهش گرمایش جهانی داشته باشد (Al-Kaisi & Yin, 2005). در این راستا، کیائو و همکاران (Qiao et al., 2014) اظهار داشتند که مصرف کودهای دامی در سیستم‌های کشاورزی دیم ذرت-سویا-گندم در شمال چین، موجب بهبود محتوی ماده آلی، افزایش عملکرد همراه با تخفیف پتانسیل گرمایش جهانی در مقایسه با مصرف کودهای شیمیایی NPK گردید. البته تفاوت در مقدار مصرف کودهای

به دنبال دارد.

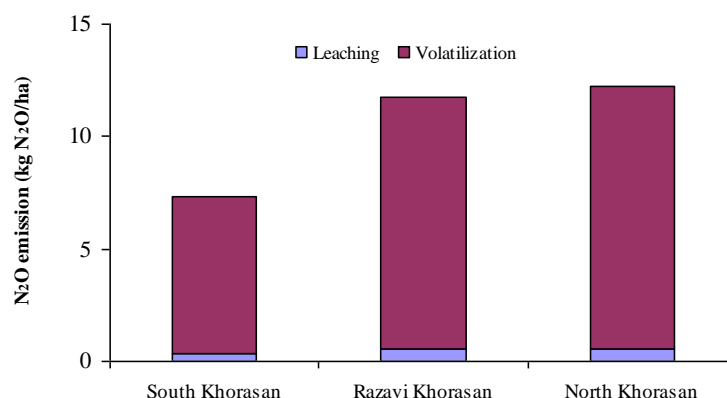
کمترین شاخص بوم‌شناخت نظام‌های تولید زعفران در مقایسه استان‌های خراسان مربوط به خراسان جنوبی (۰/۸۴ Ecox به ازای یک کیلوگرم گل) بود که ۴۵ و بیش از ۱۰۰ درصد کمتر از استان‌های خراسان رضوی و جنوبی تعیین شد (جدول ۳). کاهش فشرده‌گی عملیات زراعی بکارگرفته شده به واسطه تاکید بیشتر بر مدیریت سنتی و کشاورزی خانوادگی<sup>۱</sup> در مزارع زعفران در استان خراسان جنوبی در مقایسه با دو استان دیگر، کاهش اثرات زیست‌محیطی و در نتیجه کاهش شاخص بوم‌شناخت را برای این استان به دنبال داشت. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2017) با ارزیابی اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان جنوبی و رضوی، مجموع شاخص بوم‌شناخت تربت‌حیدریه را ۵۷ درصد بالاتر از قائن گزارش نمودند. از آنجا که ساده‌ترین راهکار برای بهبود وضعیت زیست‌محیطی، افزایش بهره‌وری است (Iriarte et al., 2014; Romero-Gómez et al., 2010)، به منظور بهبود پایداری و تخفیف اثرات زیست‌محیطی در نظام‌های کشاورزی، پیشنهاد می‌شود جایگزینی نهاده‌ها و منابع غیرقابل تجدید با نهاده‌های تجدیدپذیر (Alluvione et al., 2011)، اجرای کشاورزی دقیق، بکارگیری تکنولوژی‌های نو (Yuan & Peng, 2017)، به ویژه در استان‌های با اثرات زیست‌محیطی بالاتر، بهبود و ارتقای وضعیت ماشین‌آلات و بهره‌گیری از راهکارهای به‌زراعی برای افزایش بهره‌وری تولید مدنظر قرار گیرد.

#### انتشار اکسید نیتروس: در شکل‌های ۱ و ۲ میانگین

انتشار  $N_2O$  تحت تأثیر آب‌شویی و تصعید و انتشار  $N_2O$  به صورت مستقیم و غیرمستقیم در نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان نشان داده شده است.

استان بیش از ۱۰۰ درصد کمتر از دو استان دیگر محاسبه شد (جدول ۳). انتشار نیترات به عنوان یکی از عوامل مؤثر در گروه تأثیر اوتریفیکاسیون، بیش از هر عاملی به شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک بستگی داشته و در شرایط ثابت محیطی تابع میزان مصرف نیتروژن است (Charles et al., 2006); به طوری که با افزایش مصرف کودهای نیتروژن، سهم  $NO_3^-$  در پتانسیل این گروه تأثیر تشدید می‌شود. نیکخواه و همکاران (Nikkhah et al., 2016) بیان داشتند که بیشترین اثرات زیست‌محیطی مصرف کود اوره مربوط به تشدید پتانسیل اوتریفیکاسیون در بوم نظام خشکی می‌باشد. برنترپ و همکاران (Brentrop et al., 2004b) با بررسی روند تغییرات انتشار  $NO_3^-$  در سطوح مصرف نیتروژن نشان دادند که انتشار  $NO_3^-$  در مقادیر کم مصرف اندک بود، ولی با افزایش مصرف کود، میزان انتشار به صورت نمایی افزایش یافت. علاوه بر این، فسفر به عنوان یکی دیگر از اصلی‌ترین عوامل تشدیدکننده اوتریفیکاسیون در بیشتر بوم‌نظام‌های زراعی دنیا محسوب می‌شود (Charles et al., 2006). خوشنویسان و همکاران (Khoshnevisan et al., 2014) بیان داشتند در میان نهاده‌های مصرفی، مهم‌ترین عامل تشدیدکننده در گروه تأثیر اوتریفیکاسیون به فسفات (سهم ۶۸ درصد) اختصاص دارد. از طرفی، ماده آلی می‌تواند به صورت پوششی در اطراف ذرات کود، به عنوان پیونددهنده فسفر در محل‌های تبادل آنیونی بوده، از طریق تشکیل ترکیبات فسفات آلی عمل نموده و قابلیت استفاده از فسفر را به دلیل آزادسازی تدریجی آن افزایش دهد (Zolfi Bavariani & Nouruzi, 2010). بر این اساس، به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی این گروه تأثیر پیشنهاد می‌شود مصرف مناسب نهاده‌های کود آلی و مدیریت عناصر غذایی برای کاهش نشت عناصر غذایی و همچنین بهبود کارایی مصرف عناصر به ویژه نیتروژن و فسفر مدنظر قرار داده شود که این امر علاوه بر افزایش قابلیت استفاده از عناصر پرمصرف به ویژه نیتروژن و فسفر، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز





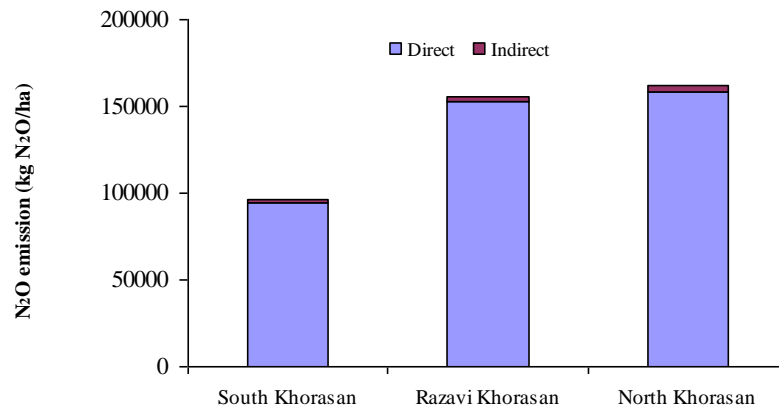
شکل ۱- مجموع پنج‌ساله انتشار N<sub>2</sub>O به ازای واحد سطح (هکتار) تحت تأثیر آبشویی و تصعید در نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان

Figure 1- Total five-year N<sub>2</sub>O emission per unit area (hectare) as leaching and volatilization for saffron production systems in Khorasan provinces.

در طی قرن گذشته تولید محصولات زراعی وابستگی شدیدی به مصرف کودهای شیمیایی پیدا کرده است. ضریب همبستگی بین مصرف کود و تولیدات کشاورزی در جهان برابر ۰/۹ گزارش شده است (Heffer & Prud-homme, 2009). تقریباً دو سوم گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در دنیا تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی به شکل N<sub>2</sub>O بوده که عمده آن مربوط به مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار است (Gan et al., 2012). هیلیر و همکاران (Hillier et al., 2009) نیز گزارش کردند که ۷۵ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات مختلف زراعی در اسکاتلند به واسطه مصرف کودهای نیتروژن‌دار است. علیرغم توسعه سطح زیر کشت و مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به ویژه نیتروژن در مدیریت محصولات زراعی و همچنین زعفران، متوسط عملکرد این گیاه پایین‌تر از سایر کشورها (Koocheki, 2018) بوده و در کشور با شیب منفی در حال کاهش (Zakiaghli et al., 2020) می‌باشد.

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بالاترین سهم انتشار N<sub>2</sub>O تحت تأثیر هر دو فرآیند آبشویی و تصعید مربوط به خراسان شمالی (به ترتیب با ۰/۵۸ و ۱۱/۶۳ کیلوگرم N<sub>2</sub>O به ازای یک هکتار) برآورد گردید که از انتشار آن تحت تأثیر هر دو فرآیند برای استان‌های خراسان رضوی و جنوبی به ترتیب ۴ و ۴۰ درصد بالاتر بود.

بالاترین میزان انتشار N<sub>2</sub>O به صورت مستقیم و غیرمستقیم در مقایسه نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان، برای خراسان شمالی (به ترتیب با ۱۵۸۵۶۵ و ۳۲۹۱/۶۴ کیلوگرم N<sub>2</sub>O به ازای یک هکتار طی پنج سال) بدست آمد. میزان کل انتشار اکسید نیتروس در استان‌های خراسان جنوبی، رضوی و شمالی به ترتیب ۹۵۹۷۴/۵۱، ۱۵۵۴۶۸/۷ و ۱۶۱۸۵۶/۶ کیلوگرم N<sub>2</sub>O به ازای یک هکتار طی پنج سال برآورد گردید که انتشار مستقیم N<sub>2</sub>O در خراسان شمالی به ترتیب ۴ و ۴۰ درصد بالاتر از استان‌های خراسان رضوی و جنوبی محاسبه گردید. همچنین میزان این انتشار برای N<sub>2</sub>O به صورت غیرمستقیم به ترتیب برابر با ۸ و ۶۴ درصد بالاتر از این دو استان بود (شکل ۲).



شکل ۲- مجموع پنج ساله انتشار مستقیم و غیرمستقیم N<sub>2</sub>O به ازای واحد سطح (هکتار) در نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان  
Figure 2- Total five-year N<sub>2</sub>O emission per unit area (hectare) as direct and indirect forms for saffron production systems in Khorasan provinces.

زیست‌محیطی بسیاری را نیز به دنبال دارد.

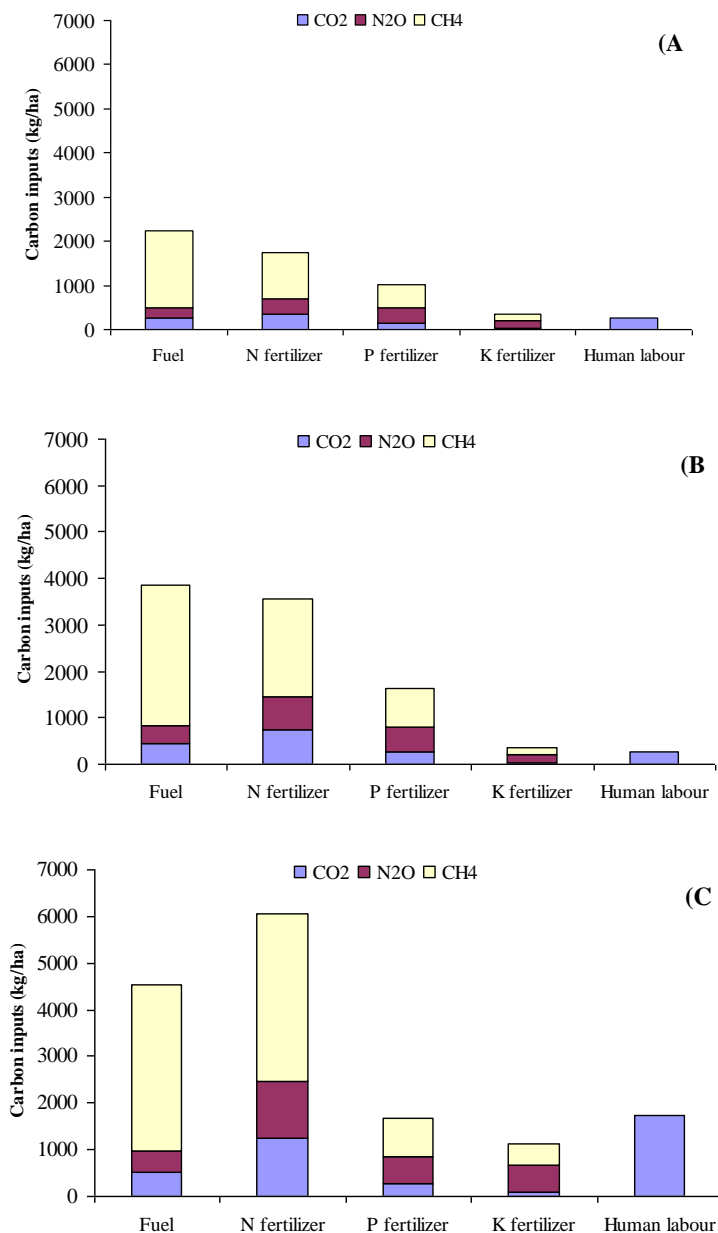
#### ورودی‌ها و خروجی‌های کربن: در مقایسه بین ورودی

های کربن در بوم‌نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان جنوبی، رضوی و شمالی، بالاترین سهم ورودی کربن مربوط به سوخت، سوخت و کودهای شیمیایی به ترتیب با ۲۲۳۵/۷۳، ۳۵۶۷/۷۵ و ۶۰۶۵/۲۵ کیلوگرم کربن به ازای هر هکتار بود (شکل‌های ۳- الف، ب و ج).

در مقایسه انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای از نظام‌های تولید زعفران، بالاترین سهم انتشار دی‌اکسید کربن و N<sub>2</sub>O در استان‌های خراسان جنوبی و رضوی به کودهای نیتروژنه اختصاص داشت و بالاترین سهم انتشار CH<sub>4</sub> مربوط به سوخت بود. سهم خراسان رضوی در انتشار این گازها به ترتیب ۵۱، ۵۱ و ۴۲ درصد بالاتر از خراسان جنوبی محاسبه گردید؛ در حالی که بکارگیری مدیریت فشرده تولید بر مبنای مصرف کودهای شیمیایی در مزارع زعفران در استان خراسان شمالی در مقایسه با دو استان دیگر موجب گردید تا بیشترین سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به مصرف کودهای نیتروژن (به ترتیب با

همچنین رابطه مثبت و معنی‌داری بین مصرف کود و عملکرد گل یا کلاله به عنوان شاخص عملکرد در تولید این محصول وجود ندارد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود، اجرای روش‌های خاکورزی حفاظتی، مصرف نهاده‌های آلی و سیستم‌های آبیاری کارآتر در نظام‌های تولید این محصول مورد استفاده قرار گیرند (Koocheki et al., 2020) که این امر سبب کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و همچنین بهبود ماده آلی خاک می‌گردد و در درازمدت می‌تواند تأثیر بسزایی بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژن‌دار ایفا نماید. روبرتسون و همکاران (Robertson et al., 2000) نیز عنوان کردند اجرای نظام‌های کشاورزی حفاظتی، با مصرف سوخت‌های فسیلی کمتر، موجب افزایش نسبی ماده آلی در خاک می‌شوند که به نوبه خود به مرور زمان نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش داد. علاوه بر این، چارلز و همکاران (Charles et al., 2006) نیز نتیجه گرفتند که تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک با توجه به نتایج آنالیز خصوصیات شیمیایی خاک و نیاز گیاه، علاوه بر بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها، مزایای

۱۲۵۹/۷۰، ۱۲۱۱/۲۵ و ۳۵۸۵/۳۰ کیلوگرم کربن به ازای هر هکتار) باشد (شکل‌های ۳- الف، ب و ج).



شکل ۳- مجموع پنج‌ساله ورودی کربن به ازای واحد سطح (هکتار) در نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان (الف) جنوبی، (ب) رضوی و (ج) شمالی)

Figure 3- Total five-year of carbon inputs per unit area (hectare) for saffron production systems in (A) South Khorasan, (B) Razavi Khorasan and (C) North Khorasan provinces.

فسفره و به ترتیب ۹ و ۱۱ برابر بیشتر از مصرف حشره‌کش‌ها و اجرای عملیات کشاورزی مکانیزه برآورد نمودند. تولید محصولات

گان و همکاران (Gan et al., 2012) تأثیر کودهای نیتروژن در انتشار گاز دی اکسید کربن را ۱۷ درصد بیشتر از کودهای

کودهای شیمیایی به ویژه نیتروژن وجود دارد (Sharma & Kumar, 2011)، به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی و از طرفی جبران کمبود نیتروژن در سیستم‌های زراعی تولید زعفران به ویژه در استان خراسان شمالی که عمدتاً بر مبنای مدیریت فشرده و با نگاه یک جانبه به افزایش تولید گل متمرکز می‌باشد، پیشنهاد می‌شود مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک با هدف بهبود کارایی مصرف نیتروژن مدنظر قرار شود. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Mogaddham et al., 2021) با مقایسه اثرات زیست‌محیطی نظام‌های سنتی و رایج زعفران نتیجه گرفتند که اگرچه مدیریت کم‌نهاده عملکرد کمتری در مقایسه با نظام پرنهاده دارد، ولی کاربرد نهاده‌های شیمیایی کمتر علاوه بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، افزایش خدمات و کارکردها را به دنبال دارد.

میزان ورودی‌ها و خروجی‌های کربن برای نظام‌های تولید زعفران در جدول ۳ ارائه شده است.

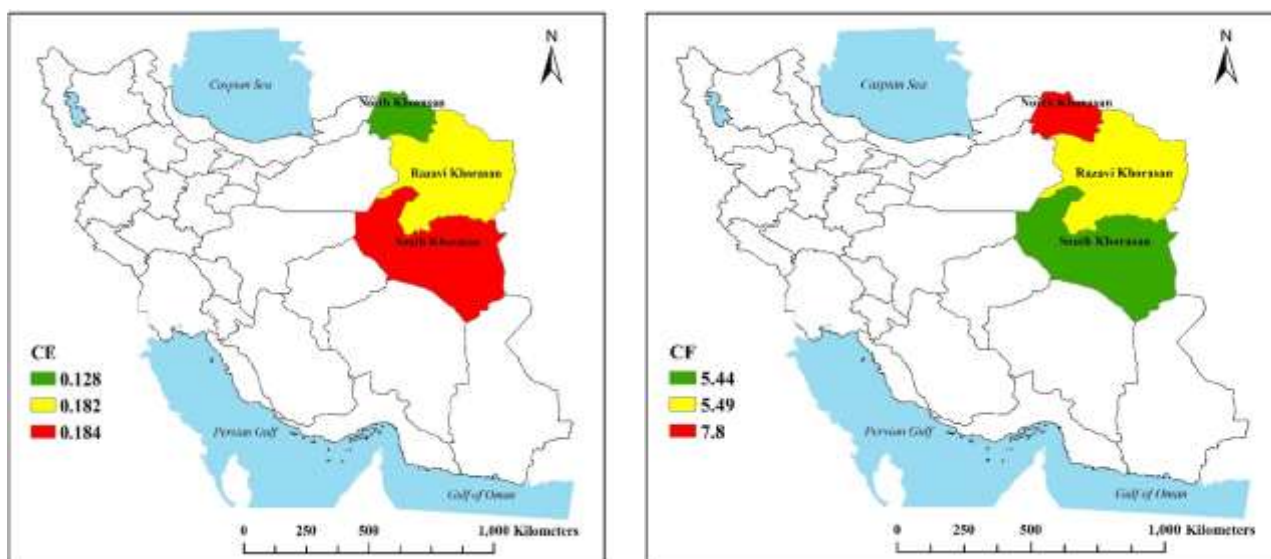
زراعی به صورت فشرده اثرات زیست‌محیطی زیادی بر جای می‌گذارد که مدیریت مصرف کودهای نیتروژن یکی از عوامل مهم تأثیرگذار می‌باشد، زیرا فرآیند تولید کودهای نیتروژن دار به انرژی‌های غیرقابل تجدید نیاز دارد و پتانسیل گرمایش جهانی را تشدید می‌نماید. از طرفی دیگر، پتانسیل تشکیل اوزون، پتانسیل اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون را نیز افزایش می‌دهد. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2018b) میانگین تبعات زیست‌محیطی مزارع زعفران شامل انتشار گازهای گلخانه‌ای و جریان نیتروژن و فسفر را به ترتیب  $۱۳/۳۹ \times ۱۰^۶$  و  $۴/۶۶ \times ۱۰^۶$  ریال در هکتار گزارش نمودند. لال و همکاران (Lal et al., 1998)، انتشار کربن طی فرآیند تولید هر تن کود نیتروژن را حدود ۸۲۰ کیلوگرم برآورد کردند. در بررسی دیگری، انرژی مورد استفاده برای آبیاری مزارع در آمریکا معادل ۱۵۰ کیلوگرم کربن در هکتار گزارش شد (Follett, 2001). بنابراین، از آنجا که همبستگی معنی‌داری بین اثرات زیست‌محیطی و مصرف

جدول ۳- مجموع پنج‌ساله ورودی‌ها (Ci) و خروجی‌های کربن (Co) به ازای واحد سطح (هکتار) در نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان  
Table 3- Total five-year carbon inputs (Ci), carbon outputs (Co) per unit area (hectare) in saffron production systems in Khorasan provinces

استان‌ها Provinces	ورودی کربن Ci (kg C.ha <sup>-1</sup> )	خروجی کربن Co (kg C.ha <sup>-1</sup> )	کارایی کربن CE	ردپای کربن CF
خراسان جنوبی South Khorasan	5594.13	30425.65	0.184	5.44
خراسان رضوی Razavi Khorasan	9657.98	53053.82	0.182	5.49
خراسان شمالی North Khorasan	15135.56	117986.52	0.128	7.80

به ترتیب برابر با ۳۶ و ۶۳ درصد محاسبه گردید (جدول ۳). همچنین بیشترین ردپای کربن در مقایسه نظام‌های تولید زعفران برای خراسان شمالی با ۷/۸ بدست آمد که ۳۰ درصد بالاتر از دو استان دیگر بود. بالاترین کارایی کربن به خراسان جنوبی با ۰/۱۸ اختصاص داشت که به ترتیب ۱ و ۳۰ درصد بیشتر از نظام‌های تولید این محصول در استان‌های خراسان رضوی و شمالی بود (شکل ۴).

در مقایسه بین نظام‌های مختلف تولید زعفران در استان‌های خراسان، بالاترین ورودی‌ها و خروجی‌های کربن تحت تأثیر مدیریت فشرده‌تر تولید مربوط به خراسان شمالی به ترتیب با ۱۱۷۹۸۶/۵۲ و ۱۵۱۳۵/۵۶ کیلوگرم کربن به ازای یک هکتار برآورد شد که این میزان ورودی کربن به ترتیب ۵۵ و ۷۴ درصد بالاتر از استان‌های خراسان رضوی و جنوبی برآورد گردید. میزان این افزایش برای خروجی کربن در مقایسه با دو استان ذکر شده



شکل ۴- مقایسه ردپای کربن (CF) و کارایی کربن (CE) در نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان  
 Figure 4- Comparisons of carbon footprint (CF) and carbon efficiency (CE) for saffron production systems in Khorasan provinces.

بختیاری و همکاران (Bakhtiari et al., 2015) میانگین انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید زعفران را ۳۳۲۵/۵ کیلوگرم معادل CO<sub>2</sub> در هکتار برآورد کرده و عمده‌ترین عامل انتشار این گاز را به مصرف کودهای شیمیایی نسبت دادند. طی مطالعه‌ای دیگر، انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید زعفران در استان خراسان رضوی برابر با ۴۵/۹۶ کیلوگرم معادل CO<sub>2</sub> در هکتار گزارش گردید و عامل اصلی انتشار مربوط به مصرف سوخت بود (Khorramdel et al., 2018a). چویدری و همکاران (Choudrie et al., 2008) برآورد کردند که ۷۵ درصد از ردپای کربن در بخش کشاورزی در انگلستان مربوط به مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن است. آلگرن و همکاران (Ahlgren et al., 2009) دامنه ردپای کربن برای نظام‌های تولید گندم را ۰/۲۲-۰/۵۶ گزارش نموده و نتیجه گرفتند که در بین نهاده‌های مختلف، کودهای شیمیایی بیشترین تأثیر را در تشدید ردپای کربن دارد. هیلیر و همکاران ( Hillier et al.,

2009) نیز بیان کردند که ۹۵ درصد ردپای کربن در مزارع کشاورزی مربوط به مصرف کودهای شیمیایی است. طی مطالعه‌ای دیگر، گان و همکاران (Gan et al., 2012) نیز تایید نمودند که ۳۱ درصد ردپای کربن برای تولید کلزا در کانادا مربوط به مصرف کودهای شیمیایی بود. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد اگرچه افزایش مصرف کود نیتروژن از صفر به ۵۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش ردپای کربن شد، ولی افزایش مصرف نیتروژن بیش از این میزان، ردپای کربن را به مقدار قابل ملاحظه‌ای تشدید نمود. لال (Lal, 2004a) کارایی کربن برای نظام‌های تولید ذرت در ایالات متحده آمریکا را ۵/۳ کیلوگرم کربن زیست‌توده به ازای کیلوگرم ورودی کربن گزارش کرد. بر این اساس، مشخص است اختلاف در میزان مصرف کودهای شیمیایی و فشرده‌گی سیستم‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان سبب ایجاد تفاوت در انتشار گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن اختلاف در ردپای کربن شده است. در مطالعات

دراز مدت کربن خاک به نقش عملیات مدیریتی فشرده و کاربرد بقایای گیاهی به ترتیب در اتلاف و حفاظت از کربن خاک اشاره شده است (Paul et al., 1997). استفاده از سیستم‌های بدون خاکورزی در کشاورزی آمریکا سبب ترسیب ۴۷ تراگرم کربن در سال گردید (Sperow et al., 2003).

به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن تخفیف ردپای کربن و از طرفی، افزایش کارایی کربن در سیستم های زراعی سه راهکار عمده وجود دارد که شامل بهبود کارایی مصرف آب، کاهش بکارگیری ماشین آلات و کاهش مصرف نیتروژن (به صورت شیمیایی) است. بدین منظور پیشنهاد می‌شود از روش‌های افزایش کارایی مصرف کودهای شیمیایی مانند بهبود روش‌های آبیاری، مصرف نیتروژن به فرم‌های مطلوب دارای کارایی بالاتر و کاربرد در زمان و مکان مناسب و مصرف کودهای آلی استفاده شود (Kallenbach et al., 2019). علاوه بر این، با توجه به اینکه مقدار کربن تجمع یافته در بقایای گیاهان زراعی در دنیا ۱/۶ پتاگرم در سال می‌باشد (Lal, 2008)، افزایش ذخیره کربن خاک تحت تأثیر ترسیب کربن را می‌توان به عنوان راهکاری دیگر برای کاهش تلفات و انتشار کربن و در نتیجه کاهش ردپای کربن (Kallenbach et al., 2019) در سیستم‌های زراعی تولید زعفران مدنظر قرار داد و از این طریق، نیز علاوه بر کاهش ردپای کربن، سایر اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید زعفران همچون پتانسیل گرمایش جهانی را نیز به میزان زیادی تقلیل داد.

گان و همکاران (Gan et al., 2011) متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تجزیه بقایای اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان زراعی را حدود ۲۵ درصد از کل انتشار در مراحل تولید برآورد نمودند. میزان انتشار حاصل از تولید، انبارداری و حمل و نقل کودها و سموم شیمیایی ۴۳ درصد و انتشار گازهای گلخانه‌ای به واسطه استفاده از ماشین آلات نیز ۳۲ درصد برآورد گردید. همچنین ردپای کربن ۰/۳۳ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به

ازای هر کیلوگرم دانه گندم محاسبه شد. مدیریت زمین‌های زراعی از طریق زیر و رو کردن مداخلات مکرر به واسطه عملیات خاکورزی سبب می‌شود که خاک‌های زراعی منبع انتشار کربن به اتمسفر محسوب شوند (Lal, 2004b). براساس برخی برآوردها مشخص شد که اجرای خاکورزی کاهش یافته سبب ترسیب ۱۱۵ کیلوگرم کربن در هکتار در سال در شرایط اقلیمی انگلستان گردید (Ogle et al., 2005).

افزایش تنوع گیاهی در مزارع تولید محصولات زراعی سبب بهبود شرایط زیست‌محیطی شده، مصرف نهاده‌ها و خسارت آفات کاهش و کارایی مصرف نهاده‌ها افزایش یافته که در نتیجه ردپای کربن تخفیف می‌یابد (Gan et al., 2012). براین اساس، پیشنهاد می‌شود با افزایش ذخیره کربن در بافت‌های گیاهی در طول فصل رشد و حفظ و برگرداندن بقایای گیاهی در خاک، ویژگی‌های فیزیکی (همچون ساختمان، سرعت نفوذ آب و حفظ آب)، شیمیایی (نظیر چرخه عناصر غذایی، ظرفیت تبادل کاتیونی و شاخص واکنش خاک) و فرآیندهای بیولوژیکی خاک (شامل ترسیب کربن، کربن زیست‌توده میکروبی و افزایش تنوع زیستی خاک) را در بوم‌نظام‌های زراعی مناطق خشک همچون زعفران بهبود داد. از دیگر راهکارهای کاهش ردپای کربن می‌توان به اجرای سیستم‌های زراعی چندکشتی (که موجب کاهش ۳۱۵-۳۲ درصدی ردپای کربن در مقایسه با سیستم‌های تک‌کشتی می‌شود)، بهبود کارایی مصرف نیتروژن (که کاهش ۵۲-۳۶ درصدی ردپای کربن در مقایسه با سیستم‌های تک‌کشتی را به دنبال دارد)، اجرای تناوب زراعی (کاهش ۱۵۰ درصدی انتشار کربن را موجب می‌گردد)، افزایش ترسیب کربن در خاک، بکارگیری سیستم‌های خاکورزی کاهش یافته همراه با مصرف بقایای گیاهی، بکارگیری عملیات تلفیقی در مدیریت سیستم های زراعی (که علاوه بر افزایش عملکرد، کاهش انتشار دی‌اکسید کربن را بدنبال دارد) و وارد کردن گونه‌های زراعی تثبیت کننده نیتروژن در تناوب زراعی (با هدف کاهش مصرف کودهای

رایج بوده و به بکارگیری ماشین‌آلات و مصرف کودهای نیتروژنه وابسته می‌باشند. سهم کودهای شیمیایی نیتروژنه و سوخت‌های فسیلی در انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن و اکسید نیتروس در نظام‌های تولید فشرده زعفران به ویژه در استان خراسان شمالی بالاتر بود که در نتیجه باعث تشدید پتانسیل گرمایش جهانی گردید. بر این اساس، توصیه می‌شود انرژی وارد شده به بوم‌نظام‌های تولید زعفران و مصرف سوخت‌های فسیلی از طریق بکارگیری راهکارهای اکولوژیک تخفیف داده شود که این هدف با بهره‌گیری از مدیریت کم‌خاک‌ورزی برای تخفیف ردپای کربن امکان‌پذیر است. همچنین از آنجا که مصرف نیتروژن نقش مهمی در انتشار اکسید نیتروس و در نتیجه تشدید تغییر اقلیم و گرمایش جهانی دارد، فشرده‌سازی پایدار و اکولوژیک سیستم‌های زراعی از طریق افزایش کارایی مصرف این عنصر و جایگزینی نهاده‌های شیمیایی با نهاده‌های سازگار با محیط زیست شامل بهره‌گیری از کودهای دامی، نهاده‌های آلی و وارد کردن گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در تناوب زراعی با زعفران به منظور کاهش سهم این نهاده توصیه می‌شود.

علاوه بر این، با توجه به اینکه کارایی کربن عکس ردپای کربن می‌باشد و از آنجا که زعفران به عنوان گیاهی چندساله، کارایی کربن و به بیانی توانایی ترسیب و ذخیره کربن در بافت‌های گیاهی دارد، می‌توان این گیاه را همراه با سایر گیاهان زراعی به صورت چندکشتی تولید کرد تا کارایی کربن در نظام‌های زراعی ارتقاء داده شود. به عبارت دیگر، کاشت گیاهانی با قابلیت ترسیب کربن بالا همزمان با به کارگیری راهکارهای زراعی جهت افزایش کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های کشاورزی تولید زعفران به ویژه در بوم‌نظام‌های فشرده‌تر تولید این محصول، می‌تواند در کاهش ردپای کربن مؤثر واقع شود.

### سپاسگزاری

شیمیایی نیتروژن) با زعفران اشاره کرد (Liu et al., 2016) که علاوه بر بهبود عملکرد، از طریق تخفیف انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه کربن تخفیف ردپای این گاز گلخانه‌ای و کاهش اثرات زیست‌محیطی و از طرفی، بهبود خدمات و کارکردها را در سیستم‌های زراعی تولید زعفران در مناطق خشک و نیمه خشک به دنبال دارد.

همچنین از آنجا که تحقیقات مؤید تأثیر بسزای اندازه زمین زعفران بر میزان مصرف نهاده‌ها و اثرات زیست‌محیطی می‌باشد (Khorramdel et al., 2019)، به نظر می‌رسد که اندازه بزرگتر زمین‌های زعفران در استان خراسان شمالی در مقایسه با نظام‌های سنتی‌تر در دو استان دیگر به ویژه در استان خراسان جنوبی که عمدتاً به صورت خرده‌پا بوده و به شیوه کشاورزی خانوادگی مدیریت می‌شوند (Khorramdel et al., 2018b)، موجب بکارگیری بیشتر نهاده‌های شیمیایی و فشرده‌گی بالاتر در مقایسه با دو استان دیگر شده که در نتیجه ردپای کربن بالاتری را ایجاد نموده است؛ بر این اساس، پیشنهاد می‌شود مدیریت اکولوژیک بوم‌نظام‌های زراعی زعفران همچون مصرف کودهای آلی پوسیده و فرآوری شده و بهبود کارایی مصرف منابع به ویژه نیتروژن را به عنوان یکی از عناصر پرمصرف و متحرک برای تخفیف اثرات زیست‌محیطی همچون انتشار گازهای گلخانه‌ای و به ویژه اکسید نیتروس و از طرفی خروجی کربن به عنوان شاخصی از کارایی کربن و ردپای کربن مدنظر قرار داد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به مقایسه اثرات زیست‌محیطی، میزان انتشار اکسید نیتروس و شاخص‌های اکولوژیکی کربن در مزارع زعفران در استان‌های خراسان، بنظر می‌رسد که مزارع در استان خراسان جنوبی عمدتاً به صورت سنتی، کشاورزی خانوادگی و با تکیه بر نیروی انسانی مدیریت می‌شوند؛ در حالی که مزارع این محصول در استان‌های خراسان رضوی و شمالی بیشتر تحت مدیریت

فردوسی مشهد تأمین شده که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

بودجه این پروژه از محل اعتبار طرح پژوهش شماره ۵۴۴۹۰

مورخ ۱۳۹۶/۱۰/۰۳ توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه

## منابع

- Ahlgren, S., Hansson, P.A., Kimming, M., Aronsson, P., and Lundkvist, H. 2009. Greenhouse gas emissions from cultivation of agricultural crops for biofuels and production of biogas from manure implementation of the Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources. Revised according to instructions for interpretation of the Directive from the European Commission. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. pp. 07-30.
- Al-Kaisi, M.M., and Yin, X. 2005. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *Journal of Environment Quality* 34: 437-445.
- Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., and Grignani, C. 2011. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. *Energy* 36: 4468-4481.
- Bakhshaei, S., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2016. Investigation of CO<sub>2</sub> emission of agroecosystems of Iran: 1- Wheat, Barley and Corn. *Journal of Agroecology*. (In Press). (In Persian with English Summary)
- Bakhtiari, A.A., Hematian, A., and Sharifi, A. 2015. Energy analyses and greenhouse gas emissions assessment for saffron production cycle. *Environmental Science and Pollution Research* 22 (20): 16184-16201.
- Barker-Reid, F., Gates, W.P., Wilson, K., Baigent, R., Galbally, I.E., Meyer, C.P., Weeks, I.A., and Eckard, R.J. 2005. Soil nitrous oxide emission from rainfed wheat in SE Australia. In A. van Amsted (eds.). *Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases (NCGG-4)*. Utrecht, the Netherlands: Mill Press.
- Bexfield, L.M. 2008. Decadal-scale changes of pesticides in ground water of the United States, 1993-2003. *Journal of Environmental Quality* 37: S226-S239.
- Billen, G., Garnier, J., and Lassaletta, L. 2013. The nitrogen cascade from agricultural soils to the sea: modelling nitrogen transfers at regional watershed and global scales. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 368: 20130123.
- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., and VandenBygaart, A.J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118: 29-42.
- Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., and 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. *European Journal of Agronomy* 14: 221-233.
- Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., and Lammel, J. 2004a. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy* 20 (3): 247-264.
- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., and 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.
- Carbon Thrust. 2007. Carbon footprint measurement methodology, version 1.1. The Carbon Thrust, London, UK.
- 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: 216-225.
- Chen, G.Q., and Zhang, B. 2010. Greenhouse gas emissions in China 2007: inventory and input-



- output analysis. *Energy Policy* 38 (10): 6180-6193.
- Cheng, K., Yan, M., Nayak, D., Pan, G., Smith, P., Zheng, J., and Zheng, J. 2015. Carbon footprint of crop production in China: An analysis of National Statistics data. *The Journal of Agricultural Science* 153 (3): 422-431
- Choudrie, S.L., Jackson, J., Watterson, J.D., Murrells, T., Passant, N., Thompson, A., Cardenas, L., Leech, A., Mobbs, D.C., Thistlethwaite, G., Abbott, J., Dore, C., Goodwin, J., Hobson, M., Li, Y., Manning, A., Ruddock, K., and Walker, C. 2008. Gas Inventory, 1990 to 2006, Annual Report for submission under the Framework Convention on Climate Change. ISBN 0-9554823-4-2.
- Crutzen, P.J. 1981. Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, including nitrous oxide. In C.C. Delwiche (eds.). *Denitrification, Nitrification, and Atmospheric Nitrous Oxide* (pp. 17-44). New York: Wiley.
- Dyer, J.A., and Desjardins, R.L. 2003. The impact of farm machinery management on greenhouse gas emissions from Canadian agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 20: 59-74.
- ECETOC. 1994. European Chemical Industry Ecology and Toxicology Centre (ECETOC). 1994. Ammonia Emissions to Air in Western Europe. Technical Report No. 62. ECETOC, Brussels.
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R.B.H., Christiansen, K., and Klüppel, H.J. 2006. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of Life Cycle Assessment* 11 (2): 80-85.
- Finnveden, G., and Potting, J. 1999. Eutrophication as an impact category, state of the art and research needs. *International Journal of Life Cycle Assessment* 4: 311-314.
- Follett, R.F. 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil and Tillage Research* 61: 77-92.
- Gan, Y., Liang, C., Hamel, C., Cutforth, H., and Wang, H. 2011. Strategies for reducing the carbon footprint of field crops for semiarid areas. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 31:643-656.
- Gan, Y., Liang, C., Huang, G., Malhi, S., Brandt, A., and Katepa-Mupondwa, F. 2012. Carbon footprint of canola and mustard is a function of the rate of N fertilizer. *International Journal of Life Cycle Assessment* 17: 58-68.
- Hamilton, C.E., Bever, J.D., Labbé, J., Yang, X., and Yin, H. 2016. Mitigating climate change through managing constructed-microbial communities in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 216: 304-308.
- Heffer, P., and Prud-homme, M. 2009. Mediumterm outlook for global fertilizer demand, supply and trade: 2009-2013. In *Proceedings 77<sup>th</sup> IFA Annual Conference, 25<sup>th</sup> - 27<sup>th</sup> May, Shanghai, China*. pp: 1-12.
- Helgason, B.L., Janzen, H.H., Chantigny, M.H., Drury, C.F., Ellert, B.H., Gregorich, E.G., Lemke, S., Pattey, E. Rochette, P., and Wagner-Riddle, C. 2005. Toward improved coefficients for predicting direct N<sub>2</sub>O emissions from soil in Canadian agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71: 87-99.
- Hillier, J., Hawes, C., Squire, G., Hilton, A., Wale, S., and Smith, P. 2009. The carbon footprints of food crop production. *International Journal of Agricultural Sustainable* 7: 107-118.
- Hillier, J., Hawes, C., Squire, G., Hilton, A., Wale, S., and Smith, P. 2009. The carbon footprints of food crop production. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7 (2): 107-118.
- Houghton, J.T., Jenkins, G.J., and Ephraums, J.J. 1993. *Climate Change. The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, 365 pp.
- Huijbregts, M.A.J. 2001. Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment. Ph.D. Dissertation, University of Amsterdam, Amsterdam.
- IPCC. 2019a. *Assesment Report, Summary fore plicy makers*. Geneva, Switzerland.
- IPCC. 2019b. *Summary for policymakers*. Geneva, Switzerland, 24 pp.
- Iriarte, A., Rieradevall, J., and Gabarrell, X. 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production* 18 (4): 336-345.
- ISO (International Organization for Standardization). 2006. *ISO 14040:2006 (E) Environmental Management- Life Cycle Assessment- Principles and Framework*.
- Kaab, A., Sharifi, M., and Mobli, H. 2020. Life cycle assessment and estimation of environmental pollutants emission in sugarcane

- production (*Saccharum officinarum* L.) using artificial neural network. *Journal of Agroecology* 12 (1): 87-106. (In Persian with English Summary).
- Kallenbach, C.M., Wallenstein, M.D., Schipanski, M.E., and Grandy, A.S. 2019. Managing agroecosystems for soil microbial carbon use efficiency: Ecological Unknowns, Potential Outcomes, and a Path Forward. *Frontiers in Microbiology* 10: e1146.
- Khorramdel, S., Abolhassani, L., and Azam Rahmati, E. 2017. Environmental impacts assessment of saffron agroecosystems using life cycle assessment methodology: (Case study: Torbat-e Heydarieh and Ghaen counties). *Journal of Saffron Research* 4 (2): 229-248. (In Persian with English Summary).
- Khorramdel, S., Mollafilabi, A., and Latifi, H. 2018a. Evaluating the potential of carbon sequestration and global warming potential for saffron fields (Case study: Khorasan-e Razavi Province). *Journal of Plant Production Research* 25 (1): 13-29. (In Persian with English Summary).
- Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., Moallem Banhangi, F., and Mollafilabi, A. 2019. Evaluation of environmental impacts of saffron (*Crocus sativus* L.) agroecosystems in the Khorasan province affected as field size by using life cycle assessment. *Saffron Agronomy and Technology* 7 (2): 185-206. (In Persian with English Summary)
- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Ghafari, A. 2018b. Economic evaluation of agroecosystem services of saffron in the Khorasan Razavi province. *Saffron Agronomy and Technology* 6 (1): 73-89. (In Persian with English Summary).
- Khoshnevisan, B., Rafiei, S., Omid, M., Keyhani, A., and Movahedi, M. 2013. Assessing of energy indices and environmental impacts of potato production (Case study: Fereydoonshahr region, Isfahan province). *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 44 (1): 57-66. (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A. 2018. Agro-ecological aspects of saffron production with a holistic approach. In: Fifth National Conference on Saffron, November 14-15, Torbat-Heydarieh, Iran. (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A., Khorramdel, S., and Shabahang, J. 2020. Evaluation of quality criteria and yield of saffron on simulated On-farm conditions. *Journal of Saffron Research*. (In Press). (In Persian with English Summary)
- Kuesters, J., and Lammel, J. 1999. Investigations of the energy efficiency of the production of winter wheat and sugar beet in Europe. *European Journal of Agronomy* 11: 35-43.
- Lal, R. 2004a. Carbon emission from farm operations. *Environment International* 30: 981-990.
- Lal, R. 2004b. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627.
- Lal, R. 2008. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363: 815-830.
- Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., and Cole, C.V. 1998. The Potential of U.S. Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. Sleeping Bear Press, Ann Arbor, Michigan.
- Liu, C., Cutforth, H., Chai, Q., and Gan, Y. 2016. Farming tactics to reduce the carbon footprint of crop cultivation in semiarid areas: A review. *Agronomy for Sustainable Development* 36 (4): 69.
- Moudrý, J., Jelínková, Z., Plch, R., Moudrý, J., Konvalina, P., and Hyšpler, R. 2013. The emissions of greenhouse gases produced during growing and processing of wheat products in the Czech Republic. *The Journal of Food, Agriculture and Environment* 11 (1): 1133-1136.
- Nikkhah, A., Firouzi, S., Hossein Payman, S.H., and Khorramdel, S. 2016. Life cycle assessment of urea fertilizer consumption in Iran. *Journal of Natural Environment* 69 (3): 853-864. (In Persian with English Summary).
- Ogle, S.M., Breidt, F.J., and Paustian, K. 2005. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry* 72: 87-121.
- Paul, E., Paustian, K., Elliott, E.T., and Cloe, C.V. 1997. Soil Organic Matter in Temperate Agriecosystems: Long-term Experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, Florida. 414 pp.
- Pietola, L., and Alakukku, L. 2005. Root growth

- dynamics and biomass input by Nordic annual field crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 108: 135-144.
- Qiao, Y., Miao, S., Han, X., You, M., Zhu, X., and Horwath, W.R. 2014. The effect of fertilizer practices on N balance and global warming potential of maize–soybean–wheat rotations in Northeastern China. *Field Crops Research* 161: 98-106.
- Rathke, G.W., and Diepenbrock, H.W. 2003. Energy balances of different crops with rape. In: *Proceedings of the 11th International Rapeseed Congress, Copenhagen, Denmark, 6e10 July 2003*. pp. 765-768.
- Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., and Sina Farshchin, S. 2021. Comparison the environmental effect of conventional and organic saffron production systems by using the life cycle assessment methodology. *Iranian Journal of Field Crops Research*. (In Press). (In Persian with English Summary).
- Richards, I.R. 2000. Energy balance in the growth of oilseed rape for biodiesel and of wheat for bioethanology. *Levington Agriculture Report*. British Association for Bio Fuels and Oils.
- Robertson, G.P., Paul, E.A., and Harwood, R.R. 2000. Greenhousegases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289: 1922-1925.
- Rochette, P. 2008. Estimation of N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils in Canada, I: Development of a country specific methodology. *Canadian Journal of Soil Science* 88 (5): 641-654.
- Romero-Gómez, M., Audsley, E., and Suárez-Rey, E.M. 2014. Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain. *Journal of Cleaner Production* 73: 193-203.
- Sharma, M.K., and Kumar, P. 2011. A guide to identifying and managing nutrient definitions in cereal crops. *International Plant Nutrition Institute*. USA. 49 pp.
- Sperow, M., Eve, M., and Paustian, K. 2003. Potential soil C sequestration on U.S. agricultural soils. *Climate Change* 57: 319-339.
- Van der Hoek, K.W., and Van Schijndel, M.W. 2006. Methane and nitrous oxide emissions from animal manure management 1990–2003. Background document on the calculation method for the Dutch National Inventory Report. RIVM and MNP (Netherlands Environmental Assessment Agency), Beethoven, The Netherlands, pp. 1-50.
- Wang, M., Wu, W., Liu, W., and Bao, Y. 2007. Life cycle assessment of the winter wheat-summer maize production system on the North China Plain. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 14: 400-407.
- Wiedmann, T., and Minx, J. 2007. A definition of carbon footprint. *ISAUK Research Report 07-01*, Durham, ISAUK Research and Consulting.
- Yan, M., Cheng, K., Luo, T., Yan, Y., Pan, G., and Rees, R.M. 2015. Carbon footprint of grain crop production in China- based on farm survey data. *Journal of Cleaner Production* 104: 130-138.
- Yuan, S., and Peng, S. 2017. Trends in the economic return on energy use and energy use efficiency in China's crop production. *Renewable and Sustainable Energy* 70: 836-844.
- Zakiaghl, M., Khorramdel, S., Nabati, J., Koocheki, A., Nezami, A., Mirshamsi, A., Rezvani Moghaddam, P., and Nassiri Mahallati, M. 2020. Criteria for production of standard pathogen-free saffron corms. *Saffron Agronomy and Technology*. (In Press). (In Persian with English Summary).
- Zhang, C., Chen, J., and Wen, Z. 2012. Assessment of policy alternatives and key technologies for energy conservation and water pollution reduction in Chinas synthetic ammonia industry. *Journal of Cleaner Production* 25: 96-105
- Zolfi Bavariani, M., and Nouruzi, M. 2010. Effect of organic matter on residual phosphorus recovering in a calcareous soil. *JWSS* 14 (52): 87-98. (In Persian with English Summary).

## Evaluation of Carbon Footprint and N<sub>2</sub>O Emission Indicators for Saffron Production Systems in Khorasan Provinces

Surur Khorramdel<sup>1\*</sup>, Mehdi Nassiri Mahallati<sup>2</sup>, Abdollah Soltan Ahmadi<sup>3</sup>, Mina Hooshmand<sup>4</sup> and Mohammad Javad Mostafavi<sup>5</sup>

Submitted: 1 November 2020

Accepted: 29 August 2021

Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., Soltan Ahmadi, A., Hooshmand, M., and Mostafavi, M.J. 2021. Evaluation of Carbon Footprint and N<sub>2</sub>O Emission Indicators for Saffron Production Systems in Khorasan Provinces. *Saffron Agronomy & Technology*, 9(3): 249-267.

### Abstract

Carbon footprint (CF) is the total amount of greenhouse gas emissions per unit of farmlands. Since the used inputs have an important role in greenhouse gas emissions, CF as an ecological indicator has been extensively applied for assessing the environmental externalities in agroecosystems. This study was conducted to estimate the CF, carbon efficiency (CE), N<sub>2</sub>O emissions affected as volatilization and leaching, carbon inputs (Ci) and carbon outputs (Co) of saffron production systems in North Khorasan, Razavi Khorasan and South Khorasan provinces. Also, life cycle assessment (LCA) analysis was employed for quantifying the impact of farming activities on the environment. Studied category groups were global warming potential (GWP), acidification potential (AP) and eutrophication potential in terrestrial (UPT) and aquatic (UPA) sub-categories. The results revealed that the lowest GWP was related to south Khorasan with 3583.71 kg CO<sub>2</sub> eq/one kg flower yield. The minimum environmental indicator (EcoX) was recorded for south Khorasan (0.84 EcoX/ one kg flower yield). N<sub>2</sub>O emissions in South Khorasan, Razavi Khorasan and North Khorasan provinces were estimated as 95974.51, 155468.7 and 161856.6 kg N<sub>2</sub>O per one ha, respectively. The largest N<sub>2</sub>O emissions affected through leaching and volatilization were calculated for North Khorasan province (with 0.58 and 11.63 kg N<sub>2</sub>O per one ha, respectively). The maximum Ci and Co were related to North Khorasan province with 117986.52 and 15135.56 kg C per one ha, respectively. The largest CF and CE were computed for North Khorasan and south Khorasan provinces with 7.8 and 0.18, respectively. Fossil fuels and chemical fertilizers were determined as the most important parameters related to CO<sub>2</sub> emission in saffron production systems. It concluded that adoption of reduced tillages, N<sub>2</sub>-fixing pulses, cover crops and green manures in rotations with saffron and increased nitrogen use efficiency as ecological approaches can optimize the system performance while reducing environmental hazards and the carbon footprint of the crop cultivation. So, with relevant agro-environmental policies in saffron production systems along with the adoption of improved agronomical practices increasing flower yield with no cost the environment can be achieved effectively, efficiently and economically.

**Keywords:** N<sub>2</sub>O emission, Global warming potential, Environmental externalities, Carbon efficiency, Emission of greenhouse gases

1 - Associated Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2 - Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3 - PhD in Crop Physiology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

4 - PhD student in Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

5 - PhD student in Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(\* - Corresponding author Email: khorramdel@um.ac.ir)

DOI: 10.22048/jsat.2021.255436.1413