



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی  
جلد بیست و پنجم، شماره یکم، ۱۳۹۷  
<http://jopp.gau.ac.ir>

## ارزیابی ترسیب کربن و پتانسیل گرمایش جهانی مزارع زعفران (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

سرور خرم دل<sup>۱\*</sup>، عبدالله ملافیلابی<sup>۲</sup> و هدی لطیفی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد،

<sup>۲</sup>استادیار پژوهشکده علوم و صنایع غذایی گروه زیست فناوری مواد غذایی،

<sup>۳</sup>دانشجوی دکتری اگرواکولوژی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۶

### چکیده

**مقدمه:** افزایش غلظت دی اکسید کربن در جو، موجب افزایش توجه به بهبود ذخایر کربن خاک در بوم‌نظام‌های کشاورزی به منظور تخفیف اثرات تغییر اقلیم و گرمای جهانی و بهبود کیفیت خاک شده است. مخازن کربن آلی خاک (SOC) نشان‌دهنده تعادل پویایی از ورودی‌ها و تلفات کربن است. تبدیل بوم‌نظام‌های طبیعی به بوم‌نظام‌های کشاورزی باعث تخلیه مخازن کربن آلی خاک می‌شود. این تلفات در شرایط خروجی کربن بالاتر در مقایسه با ورودی آن و تخریب خاک تشدید می‌شود. بوم‌نظام‌های خشکی سهم زیادی در غنی‌سازی دی اکسید کربن جوی دارند. ترسیب کربن به معنای انتقال دی اکسید کربن جو به مخازن زنده و حفظ آن برای جلوگیری از تلفات سریع آن است. بنابراین، ترسیب کربن خاک به معنای افزایش مخازن کربن آلی و غیرآلی از طریق عملیات کاربری زمین و مدیریت زراعی توصیه می‌باشد. اهداف این مطالعه تعیین ضرایب تبدیل، وزن خشک، کربن آلی، ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی و برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای مزارع زعفران در استان خراسان رضوی بود.

**مواد و روش‌ها:** این آزمایش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۵ انجام شد. نمونه‌برداری به روش تصادفی-سیستماتیک از ۱۵ مزرعه در قالب ۳۰ پلات ۰/۵ مترمربعی در طول سه ترانسکت ۵۰ متری اجرا گردید. اندام‌های زیرزمینی با استفاده از سیلندر نمونه‌برداری و سپس از خاک به‌طور کامل جدا شدند. بعد از نمونه‌برداری، اندام‌های هوایی (شامل گل و برگ) از اندام‌های زیرزمینی (شامل فلس و بنه) به‌ترتیب برای اندازه‌گیری زیست‌توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی جدا شدند. اندام‌های هوایی و زیرزمینی به‌طور کامل برای رسیدن به وزن ثابت خشک و به عنوان وزن ماده خشک ارائه گردید. برای تعیین ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی و زیرزمینی از روش احتراق به‌طور جداگانه استفاده شد. سپس پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران و خاک اندازه‌گیری شد. در نهایت، پس از محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل دی اکسید کربن ( $CO_2$ )، اکسید نیتروژن ( $N_2O$ ) و متان ( $CH_4$ ) با استفاده از ضرایب انتشار، پتانسیل گرمایش جهانی تعیین گردید. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با روش حداقل اختلاف معنی‌دار با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.3 انجام شد.

\*مسئول مکاتبه: [khorrandel@um.ac.ir](mailto:khorrandel@um.ac.ir)

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج این آزمایش، وزن خشک، محتوی کربن آلی، ضرایب تبدیل و ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران به طور معنی‌داری متفاوت بودند ( $p \leq 0/01$ ). میانگین عملکرد اندام‌های زیرزمینی بالاتر از اندام‌های هوایی بود. بالاترین و پایین‌ترین ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی به ترتیب برای بنه و گل با ۵/۸۳ و ۰/۱۴ تن در هکتار محاسبه شد. بیشترین مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای برای سوخت‌های فسیلی ۳۹/۷۸ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن به ازای یک هکتار محاسبه گردید.

**نتیجه‌گیری:** مدیریت ارگانیک و مصرف بقایای گیاهی و کودهای دامی و آلی را می‌توان به‌عنوان راهکارهای بوم‌شناختی در جهت بهبود پتانسیل ترسیب کربن مزارع زعفران مدنظر قرار داد که از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تخفیف تغییر اقلیم را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** انتشار گاز گلخانه‌ای، تغییر اقلیم، کود دامی، راهکار بوم‌شناختی، گرمایش جهانی

### مقدمه

بوم‌نظام‌های زراعی که ۱۰ درصد از زمین‌های کره زمین را شامل می‌شوند، به‌عنوان آسیب‌پذیرترین بوم‌نظام‌ها نسبت به تغییر اقلیم محسوب می‌شوند (۵۹). تلفات کربن آلی خاک تحت تأثیر مدیریت فشرده برابر با ۴۰-۳۰ تن کربن در خاک برآورد شده است (۴۲). با توجه به این‌که فعالیت‌های مختلف کشاورزی منتشرکننده انواع گازهای گلخانه‌ای به جو می‌باشد، بایستی از راهکارهای کاهش‌دهنده غلظت گازهای گلخانه‌ای و مدیریت تولید در بوم‌نظام‌های زراعی به‌عنوان راهکارهای برای تخفیف این اثرات و حفظ تنوع زیستی بهره‌گیری شود (۳۵). از جمله راهکارهای بوم‌شناختی مؤثر در کاهش غلظت کربن در جو می‌توان به نظام‌های بدون خاکورزی، کودهای آلی، تناوب زراعی و کشت مخلوط اشاره کرد (۱۷) و (۱۸ و ۴۱). ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) نیز نظام‌های بدون خاکورزی، اضافه کردن بقایای گیاهی به خاک و کاربرد انواع کودهای حیوانی را برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به جو توصیه نمودند (۷۰).

به‌عنوان راهکاری دیگر، ترسیب کربن به‌عنوان عاملی در افزایش کربن آلی خاک و کاهش گرمایش جهانی محسوب می‌شود (۶۷)، ترسیب کربن خاک، جذب دی‌اکسید کربن جو به‌وسیله گیاهان و

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و به‌ویژه دی‌اکسید کربن که ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی می‌باشد، موجب بروز گرمایش جهانی و تغییر اقلیم شده است (۴۲). با وجود متفاوت بودن انواع گازهای گلخانه‌ای و با در نظر گرفتن میزان تأثیر این گازها، برخی محققین دی‌اکسید کربن را مؤثرترین گاز گلخانه‌ای تشدیدکننده تغییرات اقلیمی نامیده‌اند (۲۵). غلظت این گاز از ۲۸۰ پی‌پی‌ام در سال ۱۷۵۰ میلادی به ۳۶۷ پی‌پی‌ام در سال ۱۹۹۹ میلادی افزایش یافته و هم‌اکنون در حدود ۴۰۲ پی‌پی‌ام رسیده است (۱۴ و ۴۲).

خاک بزرگترین منبع کربن آلی کره زمین و حاوی ۱۵۸۰ گیگا تن<sup>۱</sup> کربن است که این میزان ۲-۳ برابر کربن جو یا پوشش گیاهی می‌باشد (۵۸). کاهش اندکی در منابع کربن آلی خاک می‌تواند باعث افزایش قابل توجهی در غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو گردد و این امر در گرم شدن کره زمین به میزان زیادی تأثیرگذار است (۶۰).

۱- یک گیگاتن = یک پتا گرم = یک میلیارد تن

آن‌ها همچنین با توجه به پائین بودن میزان ماده آلی خاک (در استان خراسان رضوی) و تأثیر مثبت بقایای گیاهی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به‌ویژه محتوی کربن آلی توصیه نمودند مصرف بقایای اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا را جهت بهبود ماده آلی به‌ویژه در بوم‌نظام‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مدنظر قرار داد که از این طریق می‌توان ترسیب کربن را نیز در این مناطق بهبود بخشید (۳۳).

مصرف کودها و سموم شیمیایی، سوخت‌های فسفیلی، کاربرد کود دامی و سوزاندن بقایای آلی از جمله مهمترین منابع انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای به جو در بخش کشاورزی محسوب می‌شود. غلظت اکسیدهای نیتروژن طی دو قرن گذشته به‌دلیل افزایش فعالیت‌های بشر تا ۱۳ درصد افزایش یافته است (۱۵).

سهم هر واحد از انواع گازهای گلخانه‌ای شامل  $CO_2$ ،  $CH_4$  و  $N_2O$  در گرمایش جهانی به‌ترتیب برابر با ۱، ۳۱۰ و ۲۱ محاسبه گردیده است که سهم گاز  $N_2O$  به مراتب بیشتر از سایر گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (۲۸ و ۵۶). خرم‌دل و همکاران (۲۰۱۵) با ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای برای نظام‌های زعفران در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی دریافتند که بیشترین مجموع انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای شامل  $CO_2$ ،  $CH_4$  و  $N_2O$  به‌ترتیب با ۱۲، ۱/۱۷ و ۰/۳۴  $CO_2$  به ازای یک هکتار برای سوخت، فسفات و کود دامی به‌دست آمد. مجموع پتانسیل گرمایش جهانی نظام‌های تولید زعفران در این استان‌ها برابر با ۱۳/۵۱ تن معادل  $CO_2$  به ازای یک هکتار تعیین گردید (۳۶).

بدین ترتیب، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش مصرف انواع نهاده‌های آلی را می‌توان به‌عنوان راهکارهای بوم‌شناختی این محصول در مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های زراعی مدنظر قرار داد که از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییر اقلیم را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد.

ذخیره‌سازی کربن ماده آلی خاک می‌باشد (۴۲). مورتسون و شیومن (۲۰۰۳) بیان نمودند که پتانسیل ترسیب کربن بر حسب نوع گونه، مکان و شیوه مدیریت متفاوت است (۴۸). کوکال و همکاران (۲۰۰۹) به‌این نتیجه رسیدند که ترسیب کربن در نظام کشت گندم- برنج در مزارع دارای کود دامی و کود کامل (NPK) به‌ترتیب ۵۵ و ۷۰ درصد بیشتر از نظام کشت گندم- ذرت است (۳۹). گونه‌های گیاهی و اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی به‌دلیل برخورداری از سطح اندام‌های هوایی مختلف، نقش اصلی را در ترسیب کربن ایفاء می‌کنند (۲۶ و ۱۹).

نجم‌الدینی (۲۰۱۳) دریافت که میزان کربن ترسیب شده با نوع پوشش گیاهی رابطه مستقیم و مثبت داشت؛ به طوری که بین میزان ذخیره کربن پوشش گیاهی، فرم‌های متفاوت رویشی (نظیر علوفه‌ای، بوته‌ای و خشبی) و گستردگی سطوح اندام‌های گیاهی ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود داشت (۴۹).

جعفریان و طایفه (۲۰۱۳) در آزمایشی روی گندم دیم در منطقه کیاسر دریافتند که سنبله‌ها بیشترین و ریشه‌ها کمترین میزان ترسیب کربن را داشتند و میزان ترسیب کربن در زیست توده گیاهی ۱/۸۸۴ تن در هکتار و در خاک آن ۱۶/۳۳۲ تن در هکتار می‌باشد که توانایی این گیاه را در ترسیب کربن و کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد (۲۹). ما (۱۹۹۹) بیان داشت که میزان کربن تسهیم یافته به ریشه ارزن چند ساله در مقایسه با سایر بافت‌های گیاهی بالاتر بود. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که ریشه‌های این گیاه بیشترین تأثیر را بر ترسیب کربن در خاک داشتند (۴۳). خرم‌دل و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند که ترسیب کربن در ساقه کلزا ۲/۴ برابر برگ می‌باشد. آن‌ها وجود بافت خشبی‌تر در ساقه و همچنین وزن بالاتر آن در مقایسه با سایر اندام‌های گیاهی را دلیل این افزایش معرفی نمودند.

مناطق نیمه‌خشک کشور به شمار می‌رود. متوسط بارش طی دوره آماری ۹۴-۱۳۶۸، ۲۰۹/۸ میلی‌متر و میانگین بیشینه و کمینه دما به ترتیب ۲۲/۴ و ۸/۸ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (۴۵).

**نمونه‌برداری:** نمونه‌برداری از خاک و اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران به روش تصادفی سیستماتیک (۱۱) از پنج نقطه در ۱۵ مزرعه خراسان رضوی در سال ۱۳۹۵ انجام شد. به این ترتیب که در هر منطقه سه ترانسکت به طول ۵۰ متر به صورت تصادفی مستقر و سپس در امتداد هر ترانسکت، ۱۰ پلات ۰/۵ مترمربعی به صورت سیستماتیک و در فواصل ۱۰ متری مستقر و در هر پلات اقدام به برداشت کامل زیست‌توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی گردید. ریشه‌ها (زیست‌توده اندام‌های زیرزمینی) با استفاده از سیلندرهای به‌طور دستی از خاک جدا شدند.

زمان برداشت اندام‌های زایشی (گل) در اواخر آبان و زمان نمونه‌برداری از اندام‌های رویشی (شامل برگ، فلس و بنه‌های دختری) در هفته اول اسفند بود. برای مطالعه خاک، از همان پلات‌ها پروفیلی در زیر هر گیاه حفر و از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری قبل از برداشت اندام‌های زایشی (در اوایل مهر ماه) صورت گرفت.

از آنجا که دوره بهره‌برداری اقتصادی از مزارع زعفران به طور میانگین پنج سال می‌باشد (۸)، بنابراین به منظور یکنواختی جهت نمونه‌برداری از اندام‌های هوایی و زیرزمینی و با در نظر گرفتن وضعیت موجود، مزارع چهار ساله با مدیریت زراعی نسبتاً یکسان انتخاب شدند.

**تعیین ضرایب تبدیل و میزان ترسیب کربن:** برای تعیین ضرایب تبدیل در اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران از روش احتراق (۱) و (۱۹ و ۱۰) استفاده شد. بر این اساس، اندام‌های برداشت شده به تفکیک در

زعفران (*Crocus sativus* L.) به عنوان مهم‌ترین محصول کشاورزی و دارویی در جهان (کوچکی و همکاران، ۲۰۱۱) دارای خواص درمانی از جمله آرام‌بخشی، تحریک‌کننده معده، ضدسرطان، ضدالتهاب و برطرف‌کننده اسپاسم است (۲ و ۲۲). این گیاه به عنوان گران‌ترین محصول کشاورزی و دارویی جهان از جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی ایران برخوردار است، به طوری که بیش از ۹۰ درصد تولید زعفران دنیا به ایران تعلق دارد (۵ و ۴۶). قربانی و کوچکی (۲۰۰۶) گزارش کردند که زعفران اقتصادی‌ترین گیاه زراعی در نظام‌های کشاورزی کم‌نهاد در جنوب خراسان به شمار می‌رود (۲۱).

از آنجا که تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین اثرات نامطلوبی در پایداری منابع خاک و قدرت تولیدی اراضی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران دارد (۳۳، ۴۲ و ۵۹) و با توجه به روند کاهش مواد آلی خاک در اثر افزایش متوسط درجه حرارت سالیانه و کاهش قدرت حاصلخیزی خاک (۵۷)، این مطالعه با هدف تعیین ضرایب تبدیل و پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی زعفران، محتوی کربن آلی و ترسیب کربن خاک و ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان یکی از گیاهان مهم منطقه خراسان رضوی انجام شد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** استان خراسان رضوی دارای وسعتی بیش از ۱۲۷ هزار کیلومتر مربع می‌باشد که بین مدار جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. اگرچه این استان از تنوع اقلیمی بالایی برخوردار است، اما جزو

زعفران بر اساس عملکرد در محتوی کربن تعیین گردید.

داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.3 مورد تجزیه آماری قرار گرفت. لازم به ذکر است نمونه‌های برداشت شده از هر مزرعه به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شدند. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد.

**برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی:** به‌منظور برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی، در استان خراسان رضوی طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۸۷ به سازمان جهاد کشاورزی استان و همچنین آمار سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی مراجعه شد (۳۰).

مقدار سوخت، نهاده‌های شیمیایی در مزرعه هفت ساله شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش از طریق تکمیل ۷۵ پرسشنامه تعیین شد. میانگین میزان مصرف نهاده‌ها طی سال‌های اول تا هفتم تولید زعفران به ازای یک هکتار در جدول ۱ ارائه شده است.

آون (به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد) خشک و پس از ترکیب، نمونه‌های دو گرمی در کوره احتراق (به‌مدت سه ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. خاکستر نمونه‌ها پس از خنک شدن در دسیکاتور، توزین و پس از تعیین وزن خاکستر و وزن اولیه ماده آلی، محتوی کربن اندام‌های گیاهی با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد (۵۳):

$$\text{OC} = \text{OM} \times 0.54 \quad (1)$$

که در این رابطه، OC و OM به‌ترتیب مقدار کربن آلی (درصد) و ماده آلی (درصد) می‌باشد.

برای تعیین میزان کربن آلی و ترسیب خاک پروفیل‌هایی به عمق ۳۰ سانتی‌متر در امتداد هر ترانسکت در محل هر نمونه گیاهی حفر و نمونه‌ای از خاک برداشت گردید. پس از تعیین میزان کربن آلی با استفاده از روش والکی و بلک (۶۶) و وزن مخصوص ظاهری با روش کلوخه و پارافین (۹)، از معادله (۲) استفاده شد (۵۲).

$$C_c = 10000 \times \%OC \times BD \times E \quad (2)$$

که در این رابطه،  $C_c$ : میزان کربن ترسیب شده، OC: درصد کربن آلی، BD: وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب) و E: عمق نمونه خاک به سانتی‌متر می‌باشد. میزان ترسیب کربن اندام‌های

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

Table 1. Average amount of utilized inputs in saffron fields per one ha

کود دامی Cow manure (kg.ha <sup>-1</sup> )	کود شیمیایی Chemical fertilizer (kg.ha <sup>-1</sup> )			سوخت Fuel (L.ha <sup>-1</sup> )
	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن Nitrogen	
250.22	280.78	390.42	486.11	100.22

(CO<sub>2</sub>)، اکسید نیتروژن (N<sub>2</sub>O) و متان (CH<sub>4</sub>) در خصوص سایر نهاده‌های مصرفی با استفاده از ضرایب انتشار ارائه شده در جدول ۲ محاسبه شد.

میزان انتشار گازهای مهم گلخانه‌ای تحت تأثیر مصرف سوخت بر اساس ضرایب معادل‌سازی زیلیواکس و همکاران (۲۰۰۵) تعیین گردید (۶۵). میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن

جدول ۲- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای برای نهاده‌های شیمیایی.

Table 2. Coefficients for greenhouse gases of chemical inputs.

منبع Reference	CH <sub>4</sub> (kg)	N <sub>2</sub> O (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	نهاده (کیلوگرم) Input (kg)
62 and 27	3.7	1.25	1.3	نیتروژن Nitrogen
62 and 27	1.8	1.25	0.2	فسفر P
62 and 27	1	1.25	0.15	پتاسیم K
65	21	310	1	ضریب پتانسیل گرمایش جهانی Coefficient of global warming potential

انتشار دی اکسید کربن، N<sub>2</sub>O flux: انتشار اکسید نیتروژن و CH<sub>4</sub> flux: انتشار متان می‌باشد.

### نتایج و بحث

میانگین محتوی کربن آلی مزارع زعفران در استان خراسان رضوی ۰/۰۹۵ تعیین شد. ترسیب کربن: نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ضرایب تبدیل و پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران در جدول ۳ ارائه شده است.

از آنجا که اثر هر یک از گازهای دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن بر پتانسیل گرمایش زمین متفاوت می‌باشد (۲۸ و ۵۶)، لذا واحد این شاخص به صورت معادل دی اکسید کربن محاسبه گردید (معادله ۳).

$$GWP = CO_2 \text{ flux} + (N_2O \text{ flux} \times 310) + (CH_4 \text{ flux} \times 21) \quad \text{معادله (۳)}$$

در این معادله، GWP: پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن در هکتار)، CO<sub>2</sub> flux:

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ضرایب تبدیل و ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران.

Table 3. Variance analysis (mean of squares) for conversion coefficients and carbon sequestration of above-ground and below-ground tissues of saffron.

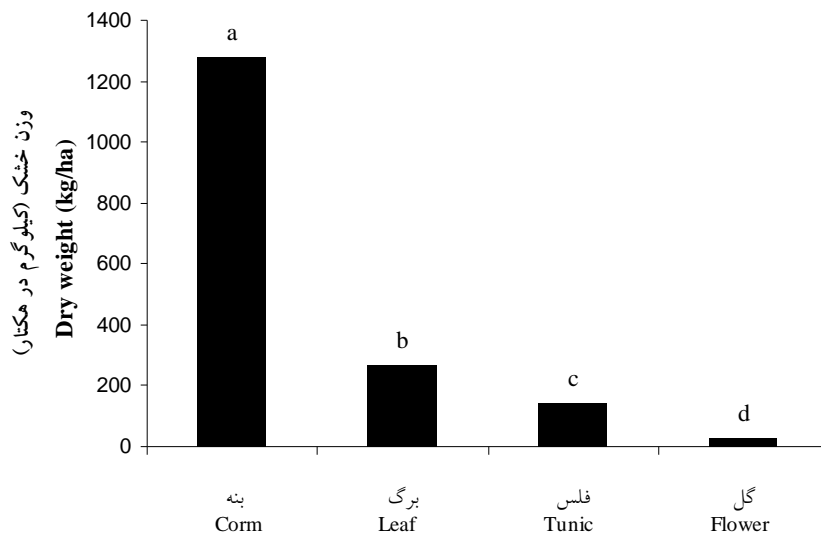
ترسیب کربن Carbon sequestration	ضریب تبدیل Conversion coefficient	کربن آلی Organic carbon	وزن خشک Dry weight	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V.
34.764**	536.523**	0.151**	1648608.067**	3	اندام‌های مختلف Different tissues
0.139	21.175	0.004	5316.246	56	خطا Error
-	-	-	-	59	کل Total
19.05	9.93	7.61	17.05	CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)

میانگین عملکرد بنه، برگ، فلس و گل زعفران به ترتیب برابر با ۱۲۷۶/۱، ۲۶۵/۵، ۱۴۳/۵ و ۲۵/۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. وزن خشک اندام‌های

وزن خشک، کربن آلی، ضرایب تبدیل و ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران به طور معنی داری متفاوت بودند (p ≤ ۰/۰۱) (جدول ۳).

همچنین میانگین وزن خشک اندام‌های زیر زمینی (شامل فلس و بنه) ۸۹ درصد بالاتر از اندام‌های هوایی (شامل گل و فلس) تعیین شد (شکل ۱).

هوایی و زیر زمینی زعفران به‌طور معنی‌داری متفاوت بودند، به طوری که بیشترین مقدار مربوط به بنه است. بنه ۷۵ درصد وزن گیاه زعفران را تشکیل داده است.

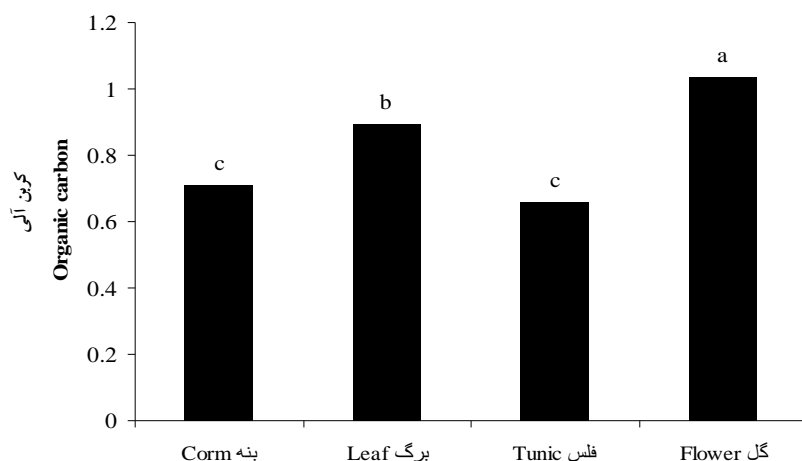


شکل ۱- مقایسه میانگین وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران.

Figure 1. Mean comparison for dry weight of above- ground and below- ground tissues of saffron.

بیشترین محتوی کربن آلی در بین سایر اندام‌های این گیاه بود، اما در مقایسه فلس و بنه که کمترین مقدار را دارا هستند، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲).

محتوی کربن آلی اندام‌های هوایی و زیر زمینی زعفران به‌طور معنی‌داری مختلف بودند (جدول ۱). اندام‌های هوایی نسبت به اندام‌های زیر زمینی دارای محتوی کربن بیشتری بودند و گل با ۱/۰۴ دارای



شکل ۲- مقایسه میانگین محتوی کربن آلی اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه زعفران.

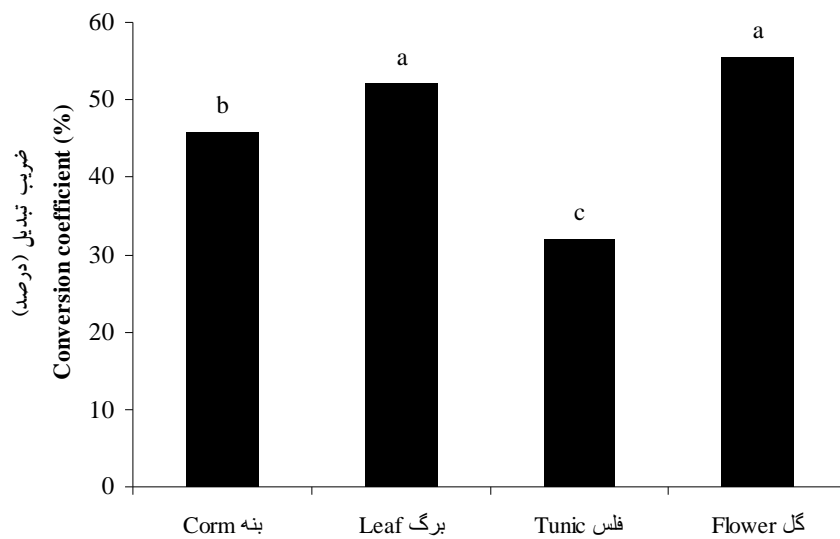
Figure 2. Mean comparison for organic carbon content of above- ground and below- ground tissues of saffron

جوانه، تجزیه تدریجی نشاسته و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده نشاسته در بنه همراه می‌باشد و

به‌نظر می‌رسد از آنجا که تمام دوره خواب در گیاه زعفران با ظهور تغییراتی در متابولیسم سلول‌های

(جدول ۱). بیشترین ضریب تبدیل برای گل با ۵۵/۴۵ درصد به دست آمد که از سایر اندام‌ها شامل بنه، فلس و برگ به ترتیب ۱۷/۵، ۴۲/۲ و ۶ درصد بالاتر تعیین شد. همچنین میانگین ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی زعفران ۳۸ درصد بالاتر از اندام‌های زیرزمینی به دست آمد (شکل ۳).

کربوهیدرات‌های تجزیه شده بنه برای تولید برگ و گل مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳) و قسمت عمده این ترکیبات در اندام‌های هوایی این گیاه ذخیره می‌شود، لذا این امر موجب افزایش محتوی کربن آلی در اندام‌های هوایی به زیرزمینی شد. ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران به طور معنی‌داری مختلف بودند ( $p \leq 0/01$ )



شکل ۳- مقایسه میانگین ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران.

Figure 3. Mean comparison for conversion coefficients of above- ground and below- ground tissues of saffron.

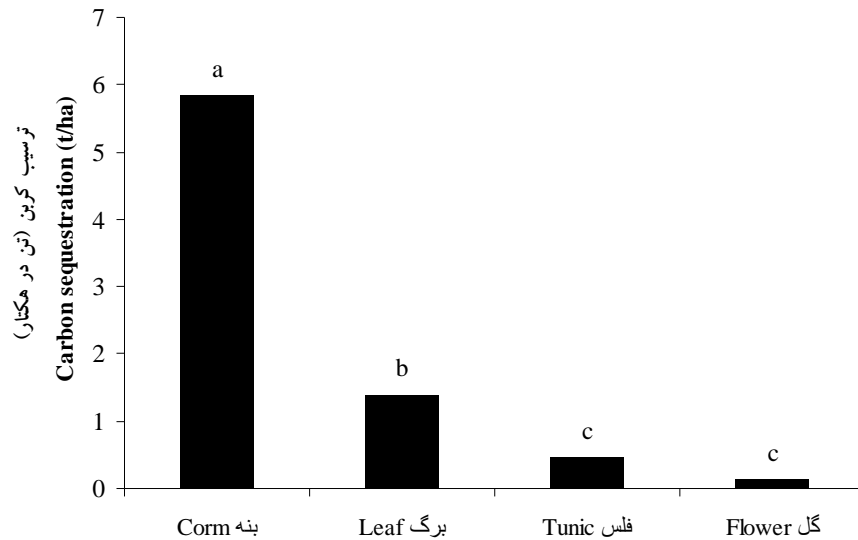
معنی کمتر برگ زعفران در مقایسه با دو گیاه کلزا و گندم می‌باشد. فروزه و همکاران (۲۰۰۸) گزارش نمودند که ضرایب تبدیل اندام‌های سه گونه گل آفتابی، سیاه گینه و درمنه دشتی نیز به طور معنی‌داری متفاوت بود (۱۹). همچنین قنبریان و همکاران (۱۳۹۴) به نتایج مشابهی در مورد بادام کوهی و مو دست یافتند (۲۰). بر این اساس، با مقایسه نتایج محققان مختلف به نظر می‌رسد که ضرایب تبدیل به دلیل تفاوت در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بین گونه‌های مختلف گیاهی و حتی اندام‌های یک گیاه به طور معنی‌داری متفاوت می‌باشد. تفاوت اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران از نظر پتانسیل ترسیب کربن معنی‌دار ( $p \leq 0/01$ ) بود (جدول

بالاتر بودن ضریب تبدیل گل در مقایسه با سایر اندام‌های هوایی و زیرزمینی، به احتمال زیاد مربوط به غنی بودن گلبرگ از مواد پلی‌فنولی، انواع آنتوسیانین‌ها و دیگر ترکیبات فلاونوئیدی و گلیکوزید (ترکیبات آلی) است (۴) که باعث افزایش ضریب تبدیل آن شده است. نتایج جعفریان و طایفه سید علیخوانی (۱۳۹۳) در خصوص گیاه گندم و خرم دل و همکاران (۱۳۹۴) در مورد گیاه کلزا نیز موید بالاتر بودن ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی در مقایسه با ریشه بود (۲۹ و ۳۳). البته نتایج این مطالعات مؤید کاهش ضریب تبدیل در برگ در مقایسه با سایر اندام‌ها بود، اما در زعفران ضریب تبدیل برگ بعد از گل در رتبه دوم قرار دارد که به احتمال زیاد نشان‌دهنده مواد



فلس به ترتیب ۷۶ و ۹۲ درصد کمتر از بنه محاسبه شد (شکل ۴).

۳). بالاترین و پایین‌ترین پتانسیل ترسیب کربن به ترتیب برای بنه ۵/۸۳ تن در هکتار و گل ۰/۱۴ تن در هکتار به دست آمد. پتانسیل ترسیب کربن برگ و



شکل ۴- مقایسه میانگین ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران.

Figure 4. Mean comparison for carbon sequestration of above- ground and below- ground tissues of saffron

اندام‌های مختلف گندم گزارش کردند که بالاترین میزان به سنبله (۱/۰۲۶ تن در هکتار) و کمترین میزان به ریشه (۰/۱۸۹ تن در هکتار) اختصاص داشت (۲۹). نتایج این آزمایش نشان‌دهنده بالاتر بودن پتانسیل ترسیب کربن بنه زعفران نسبت به سایر اندام‌های این گیاه بود و با توجه به این‌که ذخیره و انتقال کربوهیدرات‌ها در بنه برای فصل رویشی بعدی انجام می‌گیرد، و زیست‌توده بیشتری هم دارد، به میزان زیادی قابل توجه است.

علاوه بر این، گیاهانی که شاخص برداشت و نسبت اندام‌های هوایی به زیرزمینی کمتری دارند، پتانسیل بالاتری در ترسیب کربن خواهند داشت، هرچند میزان تولید گیاه نیز در این امر نقش به سزایی دارد (۵۰). بر این اساس، وارد کردن گونه‌های چندساله و دارای شاخص برداشت کمتر در تناوب زراعی با زعفران می‌تواند نقش مؤثری در بهبود پتانسیل ترسیب کربن در خاک مزارع این گیاه در

مجموع ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیر زمینی زعفران برابر با ۷/۸۳ تن در هکتار به دست آمد که سهم اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی شامل بنه، برگ، فلس و گل از کل ترسیب کربن به ترتیب برابر با ۷۴، ۱۸، ۶ و ۲ درصد می‌باشد (شکل ۴) و متناسب با وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی این گیاه می‌باشد (شکل ۱). بنه به علاوه فلس که اندام‌های زیرزمینی این گیاه محسوب می‌شوند، ۸۰ درصد از پتانسیل ترسیب کربن این گیاه را بر عهده دارند (شکل ۴). توانایی ترسیب کربن زعفران با در نظر گرفتن تفاوت‌های ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی و غیره آن با گیاهان دیگر متفاوت می‌باشد که البته با نتایج حاصل در گیاهان یکساله متفاوت است. به طور مثال، خرم دل و همکاران (۱۳۹۴) دریافتند که در گیاه کلزا بیشترین توانایی ترسیب کربن مربوط به ساقه (۱/۸۱ تن در هکتار) می‌باشد (۳۳). جعفریان و طایفه سید علیخوانی (۱۳۹۲) نیز با بررسی ترسیب کربن

هکتار (۲۹) گزارش شده است. اگرچه بررسی‌ها نشان داده است که ذخیره کربن در زیست‌توده آلی نسبتاً کوتاه مدت می‌باشد و با تجزیه گیاهان، کربن به جو بر می‌گردد، با این وجود، اگر بقایای آلی به خاک برگردانیده شوند، می‌توانند به مدت طولانی‌تری در خاک حفظ شده و به‌عنوان ذخیره کربنی عمل کنند (۱۶). گیاه زعفران نیز یک گیاه علفی و چندساله است (۳۷) و همین‌طور که نتایج (۲۹، ۳۳ و ۶۳) نشان می‌دهد، پتانسیل ترسیب کربن در گونه‌های درختچه‌ای، بوته‌ای و گونه‌های چند ساله نسبت به گونه‌های یکساله بیشتر می‌باشد. از آنجا که مقدار کربن آلی موجود در خاک به موازنه بین میزان کربن تثبیت شده از طریق فتوسنتز که وارد زیست‌توده گیاهی می‌شود و اتلاف کربن از طریق تجزیه میکروبی بستگی دارد (۵۸)، بنابراین عملیات کشاورزی با تجزیه ماده آلی حاصل از بقایای گیاهان زراعی منجر به تغییر در ورود و خروج جریان CO<sub>2</sub> از خاک می‌شوند. تولید دی اکسید نیتروژن و دی اکسید کربن به وسیله فعالیت‌های میکروبی خاک، از طریق اقلیم خاک (دما و محتوی رطوبتی)، تغذیه و عوامل زیستی نیز قابل کنترل می‌باشد (۶۱ و ۵۵).

همچنین زعفران به مدت ۴ تا ۸ سال و حداکثر ۱۰ سال در زمین باقی می‌ماند و از آنجا که کشت مجدد زعفران در همان زمین با محدودیت مواجه بوده و از علل این محدودیت احتمال تولید مواد آللوپاتیک و تغییر در وضعیت بیوشیمیایی خاک پس از یک دور کشت و ایجاد فیتوتوکسی برای کشت مجدد زعفران است (۶)، می‌توان پس از یک دوره کشت این گیاه با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و اثرات آللوپاتیک آن بر سایر گیاهان، گیاه دیگری متناسب با الگوی کاشت منطقه برای افزایش ترسیب کربن و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انتخاب و در تناوب زراعی با زعفران وارد نمود.

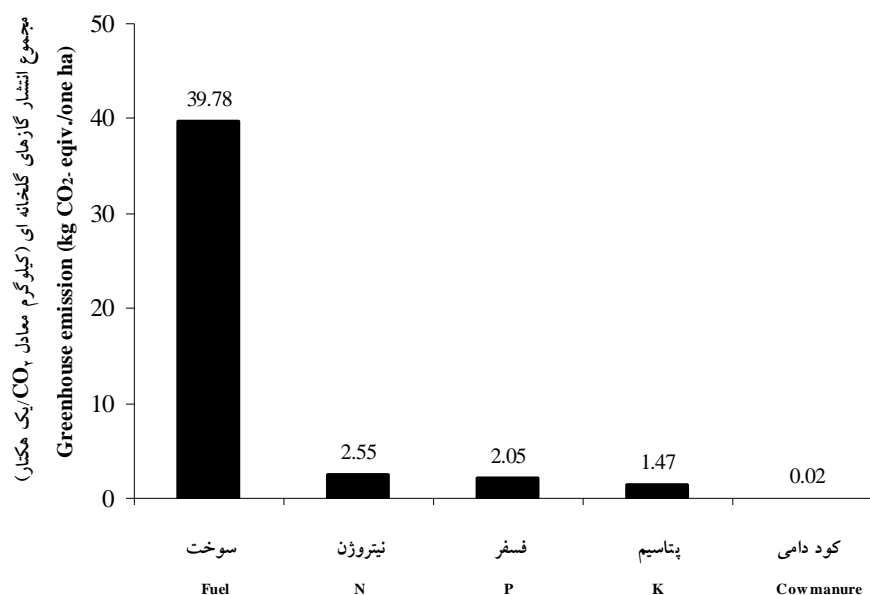
منطقه خراسان رضوی ایفاء نماید. نتایج تحقیقات تمرش و همکاران (۱۳۹۱) نیز موید این مطلب است که در گونه درختچه‌ای و بوته‌ای (چند ساله) پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های زیرزمینی (ریشه) و در گونه‌های علفی یکساله در اندام هوایی (ساقه) بیشترین مقدار است (۶۳).

با توجه به این‌که مواد آلی در بسیاری از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله حاصلخیزی، ساختمان، نفوذ و ظرفیت نگهداری آب، تراکم و فعالیت میکروبی تأثیر دارد و به‌عنوان شاخص پایداری خاکدانه‌ها شناخته می‌شود (۴۱ و ۶۴) و از طرفی برگ‌های زعفران بعد از گل‌ها نسبت به سایر اندام‌ها محتوی کربن آلی بیشتری دارد که مقدار آن ۰/۸۹۴ درصد است (شکل ۲) و از آنجا که خزان برگ‌های این گیاه در بهار انجام می‌گیرد (۸)، می‌توان آن‌ها را به‌عنوان بقایای گیاهی به‌منظور افزایش محتوی کربن آلی به خاک اضافه نمود. همچنین، پیشنهاد می‌شود به‌منظور بهبود محتوی کربن آلی، خصوصیات فیزیکی - شیمیایی و پتانسیل ترسیب کربن خاک به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، برگرداندن سایر اندام‌های غیراقتصادی به‌جز برگ همچون بنه‌های دختری کوچک را بعد از پایان یافتن عمر اقتصادی مزرعه زعفران مدنظر قرار داد.

نتایج مؤید این مطلب است که زعفران به‌دلیل چندساله بودن، پتانسیل ترسیب کربن بالاتری در مقایسه با گونه‌های یکساله زراعی برخوردار است، اما متأسفانه خاک‌های مزارع این گیاه در خراسان رضوی پتانسیل ترسیب کربن کمتری دارد که دلیل آن مربوط به میزان پایین مواد آلی در خاک می‌باشد. در همین راستا، ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی در کلزا ۵/۱۲ تن در هکتار (۳۳)، جو ۲/۹۳ تن در هکتار، انار وحشی ۲۱/۸۱ تن در هکتار، درمنه شن دوست ۱۰/۷۵ تن در هکتار (۶۳) و گندم ۳/۶۹۲ تن در

آمد که به ترتیب ۴۲ و ۲۰ درصد بالاتر از کودهای پتاسیم و فسفر بود. در مقایسه بین کودهای شیمیایی و کودهای دامی نیز مشخص گردید که میزان انتشار حاصل از کودهای شیمیایی ۱۰۰ درصد بالاتر از کودهای دامی بود. همچنین ۸۶/۷ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در بوم‌نظام‌های زراعی زعفران در استان خراسان رضوی متعلق به مصرف سوخت‌های فسیلی بود (شکل ۵).

برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی: مجموع انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای شامل  $CO_2$ ،  $N_2O$  و  $CH_4$  در بوم‌نظام‌های تولید زعفران در استان خراسان رضوی معادل ۴۵/۹۶ کیلوگرم معادل  $CO_2$  به ازای یک هکتار تعیین گردید که بالاترین میزان برای مصرف سوخت‌های فسیلی ۳۹/۷۸ کیلوگرم معادل  $CO_2$  محاسبه گردید. بیشترین مجموع انتشار این گازها در مقایسه کودهای شیمیایی برای نیتروژن (۲/۵۵ کیلوگرم معادل  $CO_2$ ) به‌دست



شکل ۵- مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای مزارع زعفران در استان خراسان رضوی.

Figure 5. Total emission of greenhouse gases for saffron fields in Khorasan-e Razavi province.

گلخانه‌ای نظام‌های تولید پسته استان خراسان رضوی بیان نمودند که بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی به مصرف کود نیتروژن اختصاص داشت و کمترین مقدار برای کود دامی به‌دست آمد (۳۴). خرم‌دل و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی دیگر، روی بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای از مزارع کلزا استان خراسان رضوی به نتایج مشابهی دست یافتند و گزارش نمودند که کود نیتروژن با ۰/۶۸۸ تن  $CO_2$  در هکتار بیشترین انتشار این گازها را به خود اختصاص داد (۳۳). دستان و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی نظام‌های

از کل پتانسیل گرمایش جهانی نظام‌های تولید زعفران در استان خراسان رضوی سهم کودهای فسفر، نیتروژن، پتاسیم، سوخت‌های فسیلی و کودهای دامی به ترتیب ۴۵، ۳۵، ۱۶، ۴ و کمتر از یک درصد بود. خرم‌دل و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی مجموع انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید سیب‌زمینی دریافتند که کود نیتروژن و سوخت به ترتیب با ۲/۲۷ و ۱/۳۶ کیلوگرم  $CO_2$  به ازای هر هکتار در جایگاه‌های اول و دوم قرار گرفتند (۳۲). در مطالعه‌ای دیگر، خرم‌دل و همکاران (۲۰۱۵) با ارزیابی انتشار گازهای

ورودی‌های موردنیاز مزرعه (علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی) ایجاد می‌شود. از آنجا که سوخت‌های فسیلی عامل مهمی در انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای به خصوص CO<sub>2</sub> به جو می‌باشند، بنابراین، باید از شیوه‌های مناسب عملیات زراعی برای کاهش انتشار این گاز به جو بهره‌گیری نمود (۶۸). دایر و دسجاردین (۲۰۰۳) با بررسی اثر مدیریت ماشین آلات بر انتشار گازهای گلخانه‌ای کانادا خاطر نشان نمودند که کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی از طریق بکارگیری مدیریت کم‌نهاد و بوم‌شناختی باعث تقلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای به جو می‌شود (۱۳).

با توجه به این که مصرف سوخت‌های فسیلی در مزرعه تحت تأثیر عواملی از قبیل نیروی اسب بخار تراکتور، عمق شخم، نوع خاک و غیره می‌باشد (۳۱) و در این مطالعه بیشترین سهم را در تشدید پتانسیل گرمایش جهانی مزارع زعفران به خود اختصاص داد، بنابراین کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی به واسطه به‌کارگیری عملیات خاکورزی کاهش یافته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین، توصیه می‌شود مصرف کودهای آلی و دامی و وارد کردن گونه‌های تثبیت کننده نیتروژن در تناوب با زعفران را به‌عنوان راهکاری بوم‌شناختی به‌منظور جایگزینی برای مصرف کودهای شیمیایی مدنظر قرار داد.

### نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که ضرایب تبدیل و پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیر زمینی زعفران به‌طور معنی‌داری متفاوت بودند. میانگین ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی بیشتر از اندام‌های زیرزمینی به‌دست آمد. بالاترین و پایین‌ترین ترسیب کربن به‌ترتیب برای بنه و گل به‌دست آمد که پتانسیل بالای بنه به‌علت وزن خشک بیشتر آن در مقایسه با سایر اندام‌های هوایی و زیرزمینی بوده و همچنین به

شالیزار پی بردند که کود نیتروژن و سوخت‌های فسیلی به‌ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم انتشار دی‌اکسید کربن قرار گرفتند. همچنین کمترین و بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی (GWP)<sup>۱</sup> به‌ترتیب برابر ۱۶۴۰ و ۲۷۲۸ کیلوگرم CO<sub>2</sub> در هکتار در نظام‌های کاشت حفاظتی و رایج حاصل شد (۱۲).

فرآیند تثبیت شیمیایی نیتروژن بسیار پرهزینه بوده و برای تولید این نهاد شیمیایی به‌طور مستقیم نیز از سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منبع انرژی کارخانه استفاده می‌شود. علاوه‌بر این، مصرف کود اوره به‌عنوان عنصر پرمصرف با تحریک رشد گیاه موجب تنفس بیشتر ریشه و تحریک فعالیت ریز موجودات خاکزی شده که از این طریق نیز افزایش انتشار گاز دی‌اکسید کربن را از خاک‌های بوم‌نظام‌های زراعی باعث می‌گردد (۲۳). نتایج اسنایدر و همکاران (۲۰۰۹) روی انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مدیریت منابع کودی مختلف در نظام‌های تولید گیاهان زراعی نشان داد که کاربرد کود شیمیایی نیتروژن یکی از مهمترین نهاده‌های دخیل در انتشار گازهای گلخانه‌ای از بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌باشد (۶۲). یوسفی و همکاران (۲۰۱۴) با ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید ذرت در استان کرمانشاه بیان نمودند که میزان انتشار برای گازهای گلخانه‌ای در مصرف کود نیتروژن به مراتب بیشتر از فسفر و آن هم بیشتر از پتاسیم بود (۶۹).

وود و کوئیز (۲۰۰۴) بیان داشتند که انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی یا به‌طور مستقیم از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی در طی اجرای عملیات زراعی (کاشت تا برداشت) و یا به‌طور غیرمستقیم در زمان تولید و حمل و نقل

1- Global warming potential

می‌شود از طریق کاهش انرژی وارده در بوم‌نظام‌های زراعی، مصرف سوخت‌های فسیلی به میزان زیادی تخفیف داده شود که این هدف با بهره‌گیری از مدیریت کم‌خاک‌ورزی امکان‌پذیر است. همچنین به علت این‌که مصرف نیتروژن نقش مهمی در تشدید تغییر اقلیم و گرمایش جهانی دارد بهره‌گیری از کودهای دامی، نهاده‌های آلی و وارد کردن گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در تناوب زراعی با زعفران توصیه می‌شود.

### سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهش طرح شماره ۴۱۰۰۴ مصوب ۱۳۹۵/۰۳/۰۹ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

واسطه محل ذخیره کربوهیدرات‌ها برای فصل رویش بعدی در دوره خواب این گیاه می‌باشد. پایین بودن محتوی کربن آلی خاک یکی از مشکلات جدی مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون استان خراسان رضوی است و با توجه به این‌که برگ‌ها نیز دارای توانایی ترسیب کربن هستند، پیشنهاد می‌شود راهکارهای بوم‌شناختی به‌منظور افزایش زیست‌توده این اندام‌ها به‌کار گرفته شود که در نتیجه از طریق برگرداندن این اندام‌ها به خاک علاوه بر ارتقاء خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک و به تبع آن ثبات تولید در این مناطق، بهبود پتانسیل ترسیب کربن را نیز به دنبال دارد.

سهم سوخت‌های فسیلی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه پتانسیل گرمایش جهانی بوم‌نظام‌های تولید زعفران به مراتب بالاتر از کودهای شیمیایی و دامی تعیین شد که بر این اساس، توصیه

### منابع

1. Abdi, N., Maadah Arefi, H. and Zahedi Amiri, G. 2008. Estimation of carbon sequestration in *Astragalus* rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). Iran. J. Range Desert Resour., 15: 2.269-282. (In Persian with English Summary)
2. Abdullaer, F. and Espinosa-Agirre, J.J. 2004. Biomedical properties of saffron and its potential use in cancer therapy and chemoprevention trials cancer detection and prevention. Cancer Detect. Prevn., 23: 426-432.
3. Abrishamchi, P. 2003. Investigatuon about some biochemical changes related to breaking of dormancy and flower formation in *Crocus sativus* L. 3<sup>rd</sup> National Symposium on Saffron. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> National Symposium on Saffron. Mashhad, Iran, 2-3 December, p. 19-27. (In Persian with English Summary)
4. Afrazeh, Z., Bolandi, M., Khorshidi, M. and Mohammadi Nafchi, A. 2014. Evaluation of antioxidant activity of aqueous and alcoholic extracts (methanol, ethanol) saffron petals. Saffron Agron. Tech., 2(3): 231-236. (In Persian with English Summary)
5. Arslan, N., Gubruz, B., Dpek, A., Özcan, S., Sarthan, E., Daeshian, A. and Moghaddassi, M. 2006. The effect of corm size and different harvesting time on saffron (*Crocus sativus* L.) regeneration. II. International Symposium on Saffron: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, 28-30 October, Pp: 113-117.
6. Azizi Zohan, A.A. and Pasandide, M. 2013. Investigate the causes of the decline in agricultural production after a period of cultivation of saffron. J. Land Manage. 1: 1. 91-98. (In Persian with English Summary)
7. Banaeian, N., Omid, M. and Ahmadi, H. 2011. Energy and economic analysis of greenhouse strawberry production in Tehran province of Iran. Energ. Convers. Manage. 52: 1020-1025.
8. Behniya, M.R. 1991. Saffron. Tehran Univ. Press, 310p. (In Persian)
9. Black, C.A. 1965. Methods of Soil Analysis. (V.I). Am. Soc. Agron. 1572p.

10. Bordbar, S.K. and Mortazavi Jahromi, S.M. 2008. Carbon sequestration potential of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. and *Acacia salicina* Lindl. plantation in western areas of Fars province. *Agron. J. (Pajouhesh Sazandegi)*. 70: 95-103. (In Persian with English Summary)
11. Chambers, J.C. and Brown, R.E. 1983. Methods for vegetation sampling and analysis on revegetated mined lands. Intermountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report. Int.
12. Dastan, S., Soltani, A., Noormohamadi, G. and Madani, H. 2014. CO<sub>2</sub> emission and global warming potential (GWP) of energy consumption in paddy field production systems. *J. Agroecol.* 6(4): 823-835. (In Persian with English Summary)
13. Dayer, J.A. and Desjardins, R.L. 2003. The impact of farm machinery management on the greenhouse gas emissions from Canadian agriculture. *J. Sustain. Agric.* 22: 59-74.
14. Earth System Research Laboratory. 2016. Ed Dlugokencky and Pieter Tans, NOAA/ESRL ([www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/))
15. Environmental Protection Agency (EPA). 1998. National Air Quality and Emission Trends Report, Report EPA 454/R-00-003, 2000.
16. Fallahi, H.R., Rezvani-Moghaddam, P., Behdani, M.A., Aghhavani-Shajari, M., Jahedi Pour, S. and Yari, A. 2015. Principles of Carbon Sequestration. Jihad Daneshgahi of Mashhad. Press, 351p. (In Persian)
17. Falloon, P.D., Smith, P., Smith, J.U., Szabó, J., Coleman, K. and Marshall, S. 1998. Regional estimates of carbon sequestration potential: linking the Rothamsted Carbon Model to GIS databases. *Biol. Fert. Soil.*, 27: 3.236-241.
18. Follett, R.F., Castellanos, J.Z. and Buenger, E.D. 2005. Carbon dynamics and sequestration in an irrigated Vertisol in Central Mexico. *Soil Till. Res.*, 83: 148-158.
19. Forouzeh, M.R., Heshmati, G.A., Mesbah, H. and Ghanbarian, G.A. 2008. Effect of floodwater irrigation on carbon sequestration potential of *Helianthemum lippii* (L.) Pers., *Dendrostellera lessertii* Van Tiegh. and *Artemisia sieberi* Besser in the Gareh Bygone plain: A case study. *Agron. J. (Pajouhesh Sazandegi)*. 78: 11-19. (In Persian with English Summary)
20. Ghanbariyan, G., Hasan Li, A. and Rajabi Nooghab, V. 2015. Comparing potential carbon sequestration of different parts of mountain almond and grape plants and soil in Fars province. *J. Nat. Environ.* 68(2): 257-265. (In Persian with English Summary)
21. Ghorbani, R. and Koocheki, A. 2006. Organic saffron in Iran: prospects challenges. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, 28-30 October, Pp: 369-374.
22. Gioccio, M. 2004. Crocetin from saffron: an active component of an ancient spice. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 44: 155-172.
23. Guillou, C.L., Angers, D.A., Leterme, P. and Menasseri-Aubry, S. 2011. Differential and successive effects of residue quality and soil mineral N on water-stable aggregation during crop residue decomposition. *Soil Biol. Biochem.* 43: 1955-1960.
24. Hasannezhad, M., Tamartash, R. and Tatiyan, M.R. 2014. Comparison of carbon sequestration of *Astragalus gossypinus* and *Dactylis glomerata* species in Hezarjarib mountainous rangelands, Behshahr. *J. Environ. Stud.* 40: 1. 29-38. (In Persian with English Summary)
25. Heinemann, A.B., Maia, H.N., Dourado-Neto, A.D., Ingram, K.T. and Hoogenboom, G. 2005. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) growth and development response to CO<sub>2</sub> enrichment under different temperature regimes. *Eur. J. Agron.* 24: 52-61.
26. Hill, M.J., Braaten, R. and McKeon, G.M. 2003. A scenario calculator for effects of grazing land management on carbon stocks in Australian rangelands. *Environ. Model. Soft.* 18: 7. 627-644.
27. IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental panel on climate change. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual, Vol. 4.

28. IPCC. 2007. Summary for Policy Makers. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.
29. Jafarian, Z. and Tayefeh Seyyed Alikhani, L. 2013. Carbon sequestration potential in dry farmed wheat in Kiasar region. *Agric. Knowl. Sustain. Prod.* 23: 1. 31-41. (In Persian with English Summary)
30. Jihad Keshavarzi Khorasan Razavi. 2015. Statistical Year book of agriculture. Jihad Keshavarzi Khorasan Razavi. Mashhad, Iran. (In Persian)
31. Kaltsas, A.M., Mamolos, A.P., Tsatsarelis, C.A., Nanos, G.D., and Kalburtji, K.L. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agric. Ecosyst. Environ.* 122(2): 243-251.
32. Khorramdel, S. and Gholizadegan Ehsanabad, A. 2015. Study greenhouse gas emissions and global warming potential production systems potatoes. The first international and the fourth notional conference of IRANs Environmental and Agricultural Research. Hamedan, Iran, 26 November 2015. [http://www.civilica.com/Paper-NCER04-NCER04\\_062.html](http://www.civilica.com/Paper-NCER04-NCER04_062.html). (In Persian)
33. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P. and Jafari, L. 2016. Evaluating the potential of carbon sequestration for canola fields under Khorasan Razavi. *Sci. Nat. Resour.* 9(3): 22-43. (In Persian with English Summary)
34. Khorramdel, S., Shabahang, J., Amin Ghafari, A. and Gholizadegan Ehsanabad, A. 2015. Evaluating the greenhouse gas emissions in Pistachio production (Case study: Khorasan). First international congress of Healthy Agriculture, Healthy Nutrient and San Society. Tehran, Iran, July. (In Persian)
35. Khorramdel, S., Koocheki, A. and Rezazadeh, M. 2014. The effects of climate change and global warming potential on biodiversity. National Conference on Climate Change and Engineering Agric. Natural Resources. Hamedan, Iran, 26 June 2014. [http://www.civilica.com/Paper-CCASD01-CCASD01\\_255.html](http://www.civilica.com/Paper-CCASD01-CCASD01_255.html) (In Persian)
36. Khorramdel, S., Mollafilabi, A. and Gholizadegan Ehsanabad, A. 2015. Evaluating the global warming potential in saffron production (Case study: Khorasan). International conference on sustainable development with a focus on agriculture, environment and tourism. Tabriz, Iran, 16-17 September 2015. [http://www.civilica.com/Paper-ICDAT01-ICDAT01\\_068.html](http://www.civilica.com/Paper-ICDAT01-ICDAT01_068.html). (In Persian)
37. Koocheki, A., Ganjeali, A. and Abbassi, F. 2006. The effect of duration of incubation and photoperiod on corm and shoot characteristics of saffron plant (*Crocus sativus* L.). Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, 28-30 October. Pp: 61-70.
38. Koocheki, A., Tabrizi, L., Jahani, M. and Mohamad Abadi, A.A. 2011. The effect of high density and depth of planting on agronomic characteristic of saffron (*Crocus sativus* L.) and corms behavior. *Agroecol.* 3: 36- 40. (In Persian with English Summary)
39. Kukal, S.S., Rasool, R. and Benbi, D.K. 2009. Soil organic carbon sequestration in relation to organic and inorganic fertilization in rice–wheat and maize–wheat systems. *Soil Till. Res.* 102: 87–92.
40. Lal, R. 2003. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect, *Crit. Rev. Plant Sci.*, 22: 2. 151-184.
41. Lal, R. and Kimble, J.M. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 49(1-3): 243-253.
42. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change, *Geoderma.* 123: 1-22.
43. Ma, Z. 1999. Carbon sequestration by switchgrass. PhD Thesis of Graduated Faculty of Auburn, University, Alabama. 124p.
44. McCarty, G.W. and Ritcher, J.C. 2000. Impact of soil movement on carbon sequestration in agricultural ecosystems. Advances in Terrestrial Ecosystem Carbon Inventory, Measurements, and Monitoring Conference. In Raleigh, North Carolina 3-5.

45. Meteorological Organization of Khorasan Razavi. <http://www.razavimet.ir/fa/node/38>. (In Persian)
46. Mohammad Abadi, A.A., RezvaniMoghaddam, P. and Sabori, A. 2006. Effect of plant distance on flower yield and qualitative and quantitative characteristics of forage production of saffron (*Crocus sativus* L.) in Mashhad conditions. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, 28-30 October. Pp: 151-153.
47. Moradi, M. 2008. Economic and environmental study Iran's Zagros forests (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad). Ph.D. Thesis of Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran. 299p. (In Persian with English Summary)
48. Mortenson, M. and Schuman, G. 2002. Carbon sequestration in rangeland interseeded with yellow-flowering alfalfa (*Medicago sativa* Spp. Falcata) USDA Symposium on Natural Resource Management to Offset Greenhouse Gas Emission in University of Wyoming.
49. Najmoddini, N. 2013. Effects of mechanical structural operations to improve watershed management in carbon sequestration for climate change mitigation (Case Study: Watershed Gavidareh in Kurdistan province). The 2<sup>nd</sup> National Conference on Climate Change and Agriculture, August 23, Urmia, Iran. (In Persian)
50. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Mansoori, H. and Moradi, R. 2015. Long term estimation of carbon dynamic and sequestration for Iranian agro-ecosystem: I- Net primary productivity and annual carbon input for common agricultural crops. J. Agroecol. 6(4): 741-752. (In Persian with English Summary)
51. Nobakht, A., Pourmajidian, M., Hojjati, S.M. and Fallah, A. 2011. A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehmian forest management plan, Mazindaran). Iran. J. Forest. 3: 1. 13-23. (In Persian with English Summary)
52. Noretto, M.D., Jobbagy, E.G. and Paruelo, J.M. 2006. Carbon sequestration in semi-arid rangelands: comparison of *Pinus ponderosa* plantations and grazing exclusion in NW Patagonia. J. Arid Environ., 67: 142-156.
53. Polidori, A., Turpin, B.J., Davidson, C.I., Rodenburg, L.A. and Maimone, F. 2008. Organic PM 2.5: fractionation by polarity, FTIR spectroscopy, and OM/OC ratio for the Pittsburgh aerosol. Aerosol. Sci. Technol., 42: 233-246.
54. Poor Asghar Sangachin, F. 2007. Look at the state of forest destruction in Iran and the world. J. Sustain. Dev. Environ., 1: 3. 36-69. (In Persian with English Summary)
55. Prior, S.A., Torbert, H.A., Runion, G.B., Rodgers, H.H., Wood, C.W., Kimball, B.A., LaMorte, R.L., Pinter, P.J. and Wall, G.W. 1997. Free- air carbon dioxide enrichment of wheat: soil carbon and nitrogen dynamics. J. Environ. Qual., 26: 1161-1166.
56. Rodhe, H. 1990. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse. Sci. 248: 1217-1219.
57. Roozi Talab, M.H. 2007. Effects of climate change on agriculture and stability of arid and semiarid soils in Iran and the world. Tenth Congress of Soil Science. Karaj, Iran, 26-28 August. (In Persian)
58. Schimel, D.S. 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. Glob. Change Biol., 1: 1. 77-91.
59. Smit, B. and Skinner, M.W. 2002. Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. Mitig. Adapt. Strat. Glob. Chang., 7: 85-114.
60. Smith, P. and Fang, C.M. 2010. Carbon cycle: a warm response by soils. Nature. 464: 499-500.
61. Smith, W.N., Grant, B., Desgardins, R.L., Lemke, R. and Li, C. 2004. Emission of the inter annual N<sub>2</sub>O emission from agricultural soils in Canada. Nutr. Cycl. Agroecosys. 68: 37-45.
62. Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L. and Fixen, P.E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agric. Ecosys. Environ., 133: 247-266.



63. Tamartash, R., Tatian, M.R. and Yousefian, M. 2012. The ability of different vegetative forms to carbon sequestration in plain rangeland of Miankaleh. *J. Environ. Stud.*, 38: 62. 45-54. (In Persian with English Summary)
64. Tarkalson, D.D., Brown, B., Kok, H. and Bjorneberg, D.L. 2009. Irrigated small-grain residue management effects on soil chemical and physical properties and nutrient cycling. *Soil Sci.* 174: 303-311.
65. Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A. and Jaggard, K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agric. Syst.*, 85: 101-119.
66. Walkley, A. and Black, I. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 37: 29-38.
67. Wiesmeier, M., Hübner, R., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., Lützow, M. and Kögel-Knabner, I. 2014. Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation. *Glob. Change Biol.* 20: 2. 653-665.
68. Wood, S. and Cowie, A. 2004. A review of greenhouse gas emission factors for fertilizer production. Research and Development Division, State Forests of New South Wales. Cooperative Research Center for Greenhouse Accounting.
69. Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A.M. and Khorramivafa, M. 2014. Energy consumption, greenhouse gas emissions and assessment of sustainability index in corn agroecosystems of Iran. *Sci. Total Environ.* 493: 330-335.
70. Zhang, L., Zhuang, Q., He, Y., Liu, Y., Dongsheng, Y., Zhao, Q., Shi, X., Xing, S. and Wang, G. 2016. Toward optimal soil organic carbon sequestration with effects of agricultural management practices and climate change in Tai-Lake paddy soils of China. *Geoderma.* 275: 28-39.

*Arc*