



انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد نهم، شماره سوم، پاییز ۹۵
۲۲-۴۳
<http://ejcp.gau.ac.ir>



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن مزارع کلزا (*Brassica napus* L.) در استان خراسان رضوی

سرور خرمدل^{۱*}، پرویز رضوانی مقدم^۲ و لیلا جعفری^۳

^۱استادیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد،

^۲آستاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد،

^۳دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۷

چکیده

سابقه و هدف: امروزه مشخص شده است که جابجایی و انتشار کربن در مخازن مختلف خاک، گیاه و جو، می‌تواند نقش اساسی در پایداری بوم نظام‌های کشاورزی و کاهش مشکلات زیست محیطی و بخصوص گرمایش جهانی و تغییر اقلیم داشته باشد. دی اکسید کربن یکی از مهمترین گازهای گلخانه‌ای بوده که افزایش غلظت آن در جو سبب گرمایش جهانی و تغییر اقلیم شده است (۸). ترسیب کربن افزایش کربن آلی خاک است که از طریق بهبود توزیع عمقی کربن آلی و تثبیت آن در خاک، یکی از ساده‌ترین راهکارهای تخفیف غلظت این گاز محسوب می‌شود (۱۸ و ۵۲).

مواد و روش‌ها: این مطالعه با هدف ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن در اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی کلزا (*Brassica napus* L.) به‌عنوان یکی از گیاهان زراعی دانه روغنی مهم منطقه خراسان رضوی در سال ۱۳۹۳ انجام شد. نمونه‌برداری به روش تصادفی سیستماتیک از ۱۰ مزرعه در قالب ۳۰ پلات ۰/۵ متر مربعی در طول سه ترانسکت ۵۰ متری اجرا گردید. برای تعیین ضرایب تبدیل ترسیب کربن در اندام‌های هوایی و زیرزمینی شامل خورجین و بذر، ساقه، برگ و ریشه از روش احتراق استفاده شد. سپس پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی و زیرزمینی کلزا و خاک تعیین شد. 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.

*مسئول مکاتبه: Khorramdel@um.ac.ir

یافته‌ها: براساس نتایج این آزمایش، میانگین عملکرد خورجین+بذر، ساقه، برگ و ریشه کلزا به ترتیب برابر با ۳۳/۴۶، ۳۶/۶۰، ۱۷/۵۴ و ۲۲/۹۱ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. میانگین ترسیب کربن خاک مزارع کلزا ۳/۴۶ تن در هکتار محاسبه گردید. ضرایب تبدیل و پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا به طور معنی‌داری مختلف بودند ($p \leq 0/01$). بیشترین ضریب تبدیل برای خورجین و بذر با ۵۱/۶۵ درصد بدست آمد. مجموع پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی برابر با ۵/۱۲ تن در هکتار بود، بالاترین و پایین‌ترین پتانسیل ترسیب کربن به ترتیب برای ساقه با ۱/۸۱ تن در هکتار و برگ با ۰/۷۶ تن در هکتار حاصل گردید. بیشترین مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای برای مصرف کودهای نیتروژنه با ۰/۶۸۸ تن دی اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی برابر با ۱/۳۵ تن معادل دی اکسید کربن به ازای یک هکتار محاسبه گردید.

نتیجه‌گیری: بدین ترتیب، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش کاربرد بقایای اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا به خاک را می‌توان به‌عنوان راهکاری بوم‌شناختی در جهت بهبود پتانسیل ترسیب کربن مزارع این گیاه 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، راهکار بوم‌شناختی، گرمایش جهانی، گیاه دانه روغنی

مقدمه

از اواخر قرن ۱۸ میلادی تاکنون غلظت دی‌اکسید کربن حدود ۲۵ درصد افزایش یافته و از حدود ۲۸۰ پی‌پی‌ام به بیش از ۳۵۰ پی‌پی‌ام رسیده است. از جمله فعالیت‌های انسانی مؤثر در این رابطه می‌توان به سوزاندن سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی شامل جنگل‌زدایی و سوزاندن زیست‌توده گیاهی اشاره کرد (۱۷). نتایج حاکی از آن است که در بین گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسید کربن بیشترین تأثیر را بر پدیده تغییر اقلیم دارد. دوبری و همکاران (۱۹۹۳) سهم انتشار دی‌اکسید کربن از زمین‌های کشاورزی را ۲۵-۲۰ درصد کل دی‌اکسید کربن انتشار یافته ناشی از فعالیت‌های انسانی گزارش نمودند (۸).

مهمترین عوامل اصلی تولید دی‌اکسید کربن و در نتیجه کاهش محتوای ماده آلی خاک شامل خاکورزی و خارج کردن بقایای گیاهی از مزرعه هستند. مک‌کونکی و همکاران (۲۰۰۳) گزارش نمودند که میزان ذخیره کربن در خاک‌های بدون شخم در مقایسه با خاک‌های شخم خورده به میزان ۵۱۲-۶۷ کیلوگرم در هکتار بالاتر است (۳۲). از جمله راهکارهای بوم‌شناختی مؤثر در کاهش غلظت کربن در جو و افزایش آن در خاک می‌توان به نظام‌های بدون خاکورزی (۱۰ و ۲۸)، کودهای آلی (۹)، تناوب زراعی (۹) و کشت مخلوط (۹) اشاره کرد.

از دیگر راهکارهای بوم‌شناختی مورد استفاده برای حذف دی‌اکسید کربن می‌توان به ذخیره این گاز در قالب زیست‌توده گیاهی (ترسیب کربن^۱) و وارد کردن کربن آلی به خاک اشاره کرد. اینگرام و فرناندز (۲۰۰۱) خاک را به عنوان بزرگترین منبع کربن خشکی و مدیریت ترسیب کربن در آنرا مهمترین عامل برای افزایش سازگاری بوم‌نظام نسبت به گاز دی‌اکسید کربن معرفی کردند (۱۸). مطالعه یان و همکاران (۲۰۰۷) بر محتوی کربن در زمین‌های زراعی نشان داد که اعمال نظام‌های بدون خاکورزی در ۵۰ درصد زمین‌های زراعی و افزودن ۵۰ درصد از بقایای گیاهی به خاک باعث افزایش ترسیب کربن شد (۵۲). خرم‌دل و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که افزایش شدت خاکورزی و استفاده از کود شیمیایی نیتروژن‌دار در نظام‌های پرنهاده به علت افزایش سرعت تجزیه کربن آلی منجر به کاهش محتوی آن و همچنین کاهش بخش پایدار کربن آلی خاک شد که از این طریق در نهایت، کاهش ترسیب کربن را به دنبال داشت (۲۵). در همین راستا، برخی بررسی‌ها (۲۲ و ۴۵) نشان داده

1. Carbon sequestration

است که زمان لازم برای پر شدن مخازن کربن در خاک متغیر بوده و به عواملی همچون عملیات زراعی، نوع گیاه، میزان بقایای برگردانیده شده به خاک و درجه حرارت محیط بستگی دارد. گونه‌های گیاهی هر منطقه به دلیل برخورداری از سطح تاج پوشش مختلف، نقش اصلی را در ترسیب کربن ایفاء می‌کنند (۱۱ و ۱۶). گونه‌های بوته‌ای سازگار به مناطق خشک و نیمه‌خشک و هر یک از اندام‌های آنها دارای نقش متفاوتی در این فرآیند هستند. مورتنسون و شیومن (۲۰۰۲) بیان نمودند که پتانسیل ترسیب کربن بر حسب نوع گونه، مکان و شیوه مدیریت متفاوت می‌باشد (۳۴). ما (۱۹۹۹) با بررسی پتانسیل ترسیب کربن ارزن چندساله (*Panicum virgatum*) بیان داشت با توجه به این مطلب که میزان کربن تسهیم یافته به ریشه این گیاه در مقایسه با سایر بافت‌های گیاهی بالاتر بود، ریشه‌های این گیاه بیشترین تأثیر را بر پتانسیل ترسیب کربن در خاک داشتند (۲۹). فروزه و میرزاعلی (۲۰۰۶) با برآورد میزان ترسیب کربن گونه‌های بوته‌ای شورپسند در مراتع گمیشان استان گلستان بر تفاوت بودن نوع گونه‌های گیاهی و سهم اندام‌های آنها در پتانسیل ترسیب کربن تأکید کردند (۱۲). 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 و فرم‌های متفاوت رویشی نظیر علوفه‌ای، بوته‌ای و خشبی و گستردگی سطوح اندام‌های گیاهی با میزان کربن ترسیب شده رابطه وجود داشت (۳۶). فروزه و همکاران (۲۰۰۸) با مقایسه توان ترسیب کربن سه گونه گل آفتاب‌پس (*Helianthemum lippii*)، سیاه‌گینه (*Dendrostellera lessertii*) و درمنه دشتی (*Artemisia sieberi*) در مراتع دشت غربایگان فسا بیان نمودند که این گونه‌ها به لحاظ فراوانی حضور در منطقه دارای نقش اصلی در ترسیب کربن در منطقه می‌باشند. در بین گونه‌های مذکور، درمنه دشتی بیشترین تأثیر را در ترسیب کربن آلی در خاک داشت (۱۱).

اگرچه محققان راهکارهای بهبود دهنده پتانسیل ترسیب کربن خاک را بسیار متنوع می‌دانند، اما با توجه به اینکه بخش عمده اراضی کشور در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع بوده که دارای محتوی ماده آلی بسیار پایین (در حدود کمتر از ۰/۱ درصد) می‌باشد (۱۵، ۳۵ و ۴۳)، بنابراین افزودن ماده آلی به خاک می‌تواند از طریق بهبود ماده آلی و تأثیر بر محتوی ذخیره رطوبتی خاک نقش بسزایی بر بهبود تولید در این مناطق ایفاء نماید. بر این اساس، این مطالعه با هدف ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن در اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی کلزا (*Brassica napus L.*)، تعیین ترسیب کربن خاک و ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان یکی از گیاهان زراعی مهم منطقه خراسان رضوی انجام شد.

مواد و روش‌ها

الف) برآورد پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف کلزا: این آزمایش با هدف ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا در مزارع تولید این گیاه در استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۳ انجام شد. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن اقلیم این منطقه نیمه‌خشک و میانگین بارندگی سالانه آن ۲۶۰/۶ میلی‌متر با متوسط درجه حرارت ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

نمونه‌برداری به روش تصادفی سیستماتیک (۵) از پنج نقطه در ۱۰ مزرعه از منطقه خراسان به صورت سیستماتیک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک (۳۰) صورت گرفت. به این ترتیب که در مزارع مورد نظر، سه ترانسکت به طول ۵۰ متر به صورت تصادفی و در امتداد هر ترانسکت ۱۰ پلات ۰/۵ متر مربعی به صورت سیستماتیک مستقر شد و اندام‌های هوایی و زیرزمینی در هر پلات به صورت جداگانه به طور کامل برداشت شد. زمان برداشت اندام‌های رویشی و زایشی شامل خورجین، ساقه، برگ و ریشه در بهار بود. برای مطالعه خاک، از بین پلات‌های مستقر شده در امتداد هر ترانسکت، پنج پلات به صورت تصادفی انتخاب و در داخل هر یک پروفیلی در زیر هر گیاه حفر و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری صورت گرفت.

برای تعیین ضرایب تبدیل^۱ ترسیب کربن در اندام‌های چهارگانه کلزا (شامل خورجین و بذر، ساقه، برگ و ریشه) از روش احتراق (۱، ۴ و ۱۱) استفاده شد. بر این اساس، اندام‌های برداشت شده به تفکیک در آون (به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد) خشک و پس از ترکیب، نمونه‌های دو گرمی در کوره احتراق (به مدت سه ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. خاکستر نمونه‌ها پس از خنک شدن در دسیکاتور، توزین شد. با تعیین وزن خاکستر و وزن اولیه ماده آلی، محتوی کربن آلی هر یک از اندام‌های گیاهی با استفاده از معادله (۱) تعیین شد (۳۹):

$$\text{معادله (۱)} \quad \%OC = \%OM \times 0.54$$

که در این رابطه، OC و OM: به ترتیب مقدار کربن آلی (درصد) و مقدار ماده آلی (درصد) می‌باشد. از ضرب ضریب تبدیل کربن آلی در وزن زیست‌توده گیاهی، وزن کل کربن ترسیب شده در هر پلات محاسبه شد. برای تعیین ترسیب خاک پروفیل‌هایی به عمق ۳۰ سانتی‌متر در امتداد هر ترانسکت در محل هر نمونه گیاهی حفر و نمونه‌ای از خاک برداشت شد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن نیز

1. Conversion coefficients

تعیین گردید. همچنین به منظور ارزیابی ترسیب کربن خاک، پس از تعیین میزان کربن آلی با استفاده از روش والکی و بلک (۵۱) و وزن مخصوص ظاهری با روش کلوخه (۳) از معادله (۲) استفاده شد (۳۸).

$$Cc = 10000 \times \%OC \times BD \times E \quad \text{معادله (۲)}$$

که در این رابطه، C_c : میزان کربن ترسیب شده به ازای یک متر مربع، C : درصد کربن آلی، BD : وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب) و E : عمق نمونه خاک به سانتی متر می باشد. داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه آماری قرار گرفت. لازم به ذکر است که نمونه‌های برداشت شده از هر مزرعه به عنوان تکرار در نظر گرفته شدند. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد.

ب) برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی: جهت برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی، اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت کلزا در استان خراسان رضوی طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به صورت مراجعه حضوری به اداره جهاد کشاورزی استان و همچنین با استفاده از اطلاعات درگاه سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی استخراج شد (۲۳). میزان مصرف سوخت، نهاده‌های شیمیایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش به صورت تکمیل ۵۰ پرسشنامه و مصاحبه حضوری از کشاورزان منطقه جمع‌آوری شد. برای تعیین تعداد پرسش‌نامه از رابطه کوکران استفاده شد (۲).

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

در این معادله، n : اندازه نمونه‌ها، N : تعداد منابع در جامعه هدف، t : ضریب قابلیت اعتماد (۱/۹۶) که بیانگر قابلیت ۹۵ درصد است، S^2 : واریانس صفت در جمعیت، d : دقت خطای قابل قبول در اندازه نمونه که معادل پنج درصد می باشد. میانگین میزان مصرف نهاده‌ها به ازای یک هکتار در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- میانگین میزان مصرف نهاده‌ها در نظام‌های تولید کلزا به ازای یک هکتار طی سال‌های ۹۳-۱۳۹۲

Table 1. Mean of used inputs in canola cropping systems per one ha during years of 2013-2014

| مقدار Amount | نهاده / ستانده Input/output | مقدار Amount | نهاده / ستانده Input/output |
|-----------------|--------------------------------|-----------------|--|
| 2.20 | علف‌کش Herbicide | 141.00 | سوخت (L.ha ⁻¹) Fuel (L.ha ⁻¹) |
| 2.00 | قارچ‌کش Fungicide | 131.00 | نیتروژن Nitrogen |
| - | حشره‌کش Insecticide | 110.50 | کود شیمیایی (kg.ha ⁻¹) Chemical Protectants (L.ha ⁻¹) |
| | | 46.00 | فسفات Phosphate پتاس Potash |

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای دی اکسید کربن (CO₂)، اکسید نیتروژن (N₂O) و متان (CH₄) با استفاده از ضرایب انتشار محاسبه شد (جدول ۲). قابل ذکر است بدلیل عدم موجود بودن ضریب انتشار CO₂ برای آفت‌کش‌ها و همچنین توجه به عدم مصرف این نوع مواد در تعداد زیادی از مزارع مورد بررسی از برآورد آن خودداری شد. در همین راستا، خوشنویسان و همکاران (۲۰۱۳) نیز اظهار داشتند که آفت‌کش‌های شیمیایی سهم ناچیزی از پتانسیل گرمایش جهانی را شامل می‌شوند (۲۶).

جدول ۲- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای برای نهاده‌های شیمیایی

Table 2. Emission coefficients of greenhouse gases for chemical inputs

| منبع Reference | CH ₄ (g) | N ₂ O (g) | CO ₂ (kg) | نهاده (کیلوگرم) Input (kg) |
|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---|
| 19 and 46 | 3.70 | 1.25 | 1.30 | نیتروژن Nitrogen |
| 19 and 46 | 1.80 | 1.25 | 0.20 | فسفر P |
| 19 and 46 | 1.00 | 1.25 | 0.15 | پتاسیم K |
| 27 | - | - | 6.30 | علف‌کش Herbicide |
| 27 | - | - | 5/10 | حشره‌کش Insecticide |
| 27 | - | - | 3/90 | قارچ‌کش Fungicide |
| 49 | 21/00 | 310/00 | 1/00 | ضریب پتانسیل گرمایش جهانی Coefficient of global warming potential |

بدین ترتیب، میزان انتشار دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن با استفاده از ضرایب ارائه شده در جدول (۲) تعیین شد (۴۱ و ۴۸). از آنجا که اثر هر یک از گازهای دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن بر پتانسیل گرمایش زمین متفاوت می‌باشد (۲۰)، بنابراین واحد این شاخص به صورت معادل دی‌اکسید کربن محاسبه گردید (معادله ۲).

$$\text{GWP} = \text{CO}_2 \text{ flux} + (\text{N}_2\text{O flux} \times 310) + (\text{CH}_4 \text{ flux} \times 21) \quad \text{(معادله ۲)}$$

در این معادله، GWP: پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار)، CO_2 flux: انتشار دی‌اکسید کربن حاصل از مصرف نهاده‌های شیمیایی، $\text{N}_2\text{O flux}$: انتشار اکسید نیتروژن حاصل از مصرف نهاده‌های شیمیایی و $\text{CH}_4 \text{ flux}$: انتشار متان حاصل از مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که مزارع کلزا در استان خراسان رضوی دارای بافت خاک رسی سیلتی بوده و میانگین محتوی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، وزن مخصوص ظاهری، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک مزارع مورد مطالعه به ترتیب ۰/۸۶ درصد، ۰/۱۷ درصد، ۳۱/۰۶ پی‌پی‌ام، ۳۳۹/۲۸ پی‌پی‌ام، ۱/۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ۷/۵۴ و ۱/۵۳ دسی‌زیمنس بر متر تعیین شد. میانگین عملکرد خورجین+بذر، ساقه، برگ و ریشه کلزا به ترتیب برابر با ۳۳/۴۶، ۳۶/۶۰، ۱۷/۵۴ و ۲۲/۹۱ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. همچنین میانگین ترسیب کربن خاک مزارع کلزا برابر با ۳/۴۶ تن در هکتار محاسبه شد. دلیل پایین بودن ترسیب کربن خاک مربوط به محتوی پایین ماده آلی خاک در مزارع مختلف استان خراسان می‌باشد. تمرناش و همکاران (۲۰۱۲) پتانسیل ترسیب کربن در خاک درختچه‌های انار وحشی و گونه‌های بوته‌ای چندساله و علفی یکساله مراتع جلگه‌ای میانکاله شهرستان بهشهر را به ترتیب ۱۲/۵، ۷/۲ و ۲ تن در هکتار در سال برآورد کردند (۴۷). نوبخت و همکاران (۲۰۱۱) ترسیب کربن خاک در توده پیسه‌آ، کاج سیاه، ون و بلوط بلندمازو را به ترتیب ۱۲۴/۳، ۹۴/۷ و ۷۸/۱ تن در هکتار گزارش نمودند. این محققان خاطر نشان ساختند که ترسیب کربن خاک با درصد پوشش گیاهی، نوع گونه‌های گیاهی، مقدار لاشبرگ و بقایای گیاهی، نوع کاربری اراضی و مدیریت ارتباط دارد؛ به طوری که اگر در منطقه‌ای، پوشش گیاهی خوب مستقر شود، در بلند مدت کربن آلی خاک افزایش می‌یابد (۳۷). اسکالپ و همکاران (۲۰۰۸) بیان داشتند که نوع و ترکیب

گونه‌ها از طریق تأثیر در ورودی کربن به خاک، مقدار کربن و ترسیب کربن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴۲). بدین ترتیب، با توجه به پتانسیل بالای گونه‌های چندساله در بهبود ترسیب کربن خاک به نظر می‌رسد که افزایش درصد چوبی شدن گونه‌ها و تفاوت‌های فیزیولوژیکی باعث افزایش پتانسیل ترسیب کربن این گونه‌ها در مقایسه با گیاهان زراعی شده است. بنابراین، به‌منظور بهبود پتانسیل ترسیب کربن خاک در بوم‌نظام‌های زراعی پیشنهاد می‌شود کاشت گونه‌های چندساله در تناوب زراعی مدنظر قرار گیرد.

الف) برآورد پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف کلزا: نتایج تجزیه واریانس ضرایب تبدیل و پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا در جدول (۳) نشان داده شده است.

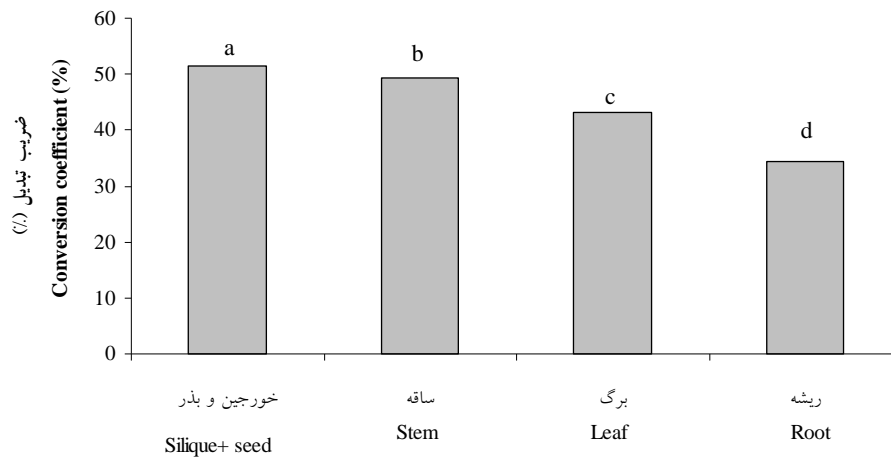
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ضرایب تبدیل و پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا
Table 3. Analysis of variance (squares of mean) for conversion coefficients and carbon sequestration of canola above-ground and under-ground tissues

| پتانسیل ترسیب کربن Carbon sequestration | ضریب تبدیل Conversion coefficient | درجه آزادی df | منابع تغییرات S.O.V. |
|--|--------------------------------------|------------------|---|
| 1.61** | 297.41** | 3 | اندام‌های هوایی و زیرزمینی Above-ground and under-ground tissues |
| 0.11 | 5.46 | 16 | خطا Error |
| - | - | 19 | کل Total |
| 26.07 | 5.52 | | ضریب تغییرات (%) CV (%) |

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** : Significant at 1% probability level

ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا به‌طور معنی‌داری مختلف بودند ($p \leq 0.01$) (جدول ۳). بیشترین ضریب تبدیل برای خورجین و بذر با ۵۱/۶۵ درصد بدست آمد که مقادیر محاسبه شده برای سایر اندام‌ها شامل ساقه، برگ و ریشه به‌ترتیب ۵، ۱۶ و ۳۴ درصد کمتر از خورجین و بذر بود. همچنین میانگین ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی کلزا ۴۸ درصد بالاتر از ریشه تعیین شد (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا.

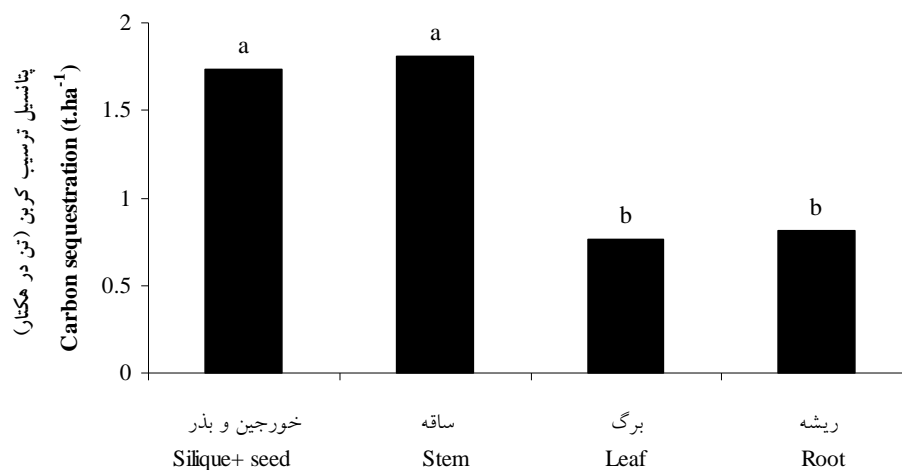
Figure 1. Mean comparison for conversion coefficients of canola above-ground and under-ground tissues.

میانگین‌های دارای حروف مختلف بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری دارند ($p \leq 0.05$).

Means with different letter(S) have significant difference based on LSD test ($p \leq 0.05$).

کاهش ضریب تبدیل در برگ‌ها احتمالاً تحت تأثیر بالا بودن مواد معدنی می‌باشد. از طرف دیگر، بالا بودن ضریب تبدیل خورجین و بذر مربوط به میزان کم آب در این اندام‌ها است. نتایج مطالعه جعفریان و طایفه سید علیخوانی (۱۳۹۲) نیز مؤید بالاتر بودن ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی در مقایسه با ریشه گندم (*Triticum aestivum*) بود (۲۱). فروزه و همکاران (۲۰۰۸) گزارش نمودند که ضرایب تبدیل اندام‌های سه گونه گل آفتابی، سیاه‌گینه و درمنه دشتی متفاوت بود (۱۱).

اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا دارای پتانسیل ترسیب کربن مختلفی بودند ($p \leq 0.01$) (جدول ۳). مجموع پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی برابر با ۵/۱۲ تن در هکتار بدست آمد، به طوری که بالاترین و پایین‌ترین پتانسیل ترسیب کربن به ترتیب برای ساقه با ۱/۸۱ تن در هکتار و برگ با ۰/۷۶ تن در هکتار بدست آمد. پتانسیل ترسیب کربن خورجین+بذر و ریشه نیز به ترتیب ۴ و ۵۶ درصد کمتر از ساقه محاسبه شد (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا.

Figure 2. Mean comparison for carbon sequestration of canola above-ground and under-ground tissues. میانگین‌های دارای حروف مختلف بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$).

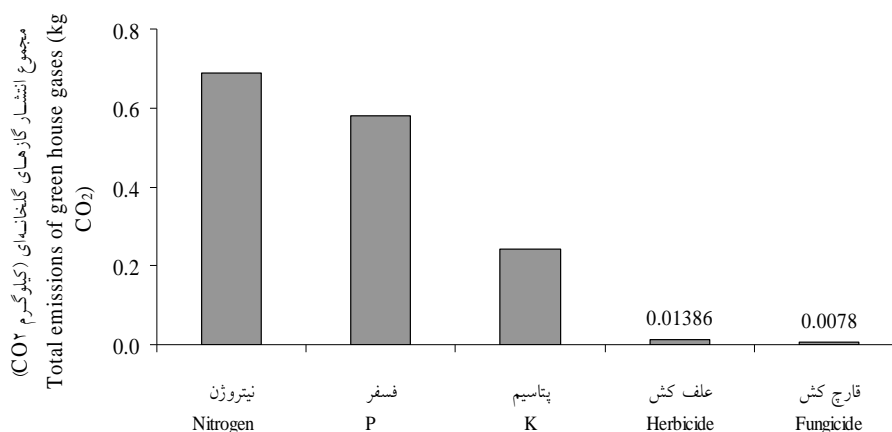
Means with different letter(S) have significant difference based on LSD test ($p \leq 0.05$).

اگرچه بافت ریشه به ظاهر خشبی‌تر از ساقه است، ولی به نظر می‌رسد که وجود ترشحات ریشه‌ای (۵۷) و همچنین نسبت کمتر کربن به نیتروژن (۵۸) این بافت موجب کاهش پتانسیل ترسیب این بافت در مقایسه با ساقه شده است. از طرف دیگر، وجود بافت خشبی‌تر در ساقه و همچنین عملکرد بالاتر آن در مقایسه با سایر اندام‌های گیاهی موجب افزایش پتانسیل ترسیب کربن آن شد. بدین ترتیب، به نظر می‌رسد که اندام‌های با بافت چوبی‌تر از توان بیشتری در ترسیب کربن برخوردار بوده و افزایش نسبت اندام‌های هوایی چوبی، ارتقاء توان ترسیب کربن را به دنبال دارد. همچنین اگرچه بین پتانسیل ترسیب کربن ساقه با خورجین تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲)، ولی همانگونه که در شکل (۱) ملاحظه می‌شود، ضریب تبدیل این اندام‌ها تفاوت معنی‌داری داشت، بنابراین به منظور کاربردی‌تر بودن نتایج این آزمایش پیشنهاد می‌شود که اضافه کردن بقایای ساقه کلزا به عنوان فرآورده جانبی مزارع تولید این گیاه جهت بهبود محتوی ماده آلی و افزایش پتانسیل ترسیب کربن مدنظر قرار گیرد. فروزه و همکاران (۲۰۰۸) پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های سه گونه گل آفتابی، سیاه گینه و درمنه دشتی را از نظر آماری متفاوت گزارش نموده و بیان داشتند که در مقایسه اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی، ساقه‌ها بالاترین توان و برگ‌ها کمترین توانمندی را در ترسیب کربن به

خود اختصاص دادند (۱۱). جعفریان و طایفه سید علیخوانی (۱۳۹۲) نیز با بررسی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف گندم گزارش نمودند که بالاترین پتانسیل به سنبله (۱/۰۲۶ تن در هکتار) و کمترین میزان به ریشه (۰/۱۸۹ تن در هکتار) اختصاص داشت (۲۱). سینگ و همکاران (۲۰۰۳) تأکید نمودند که پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی گیاهان متفاوت بود (۴۴). نتایج یافته‌های گائو و همکاران (۲۰۰۷) و یانگ (۲۰۰۷) نیز مؤید بالاتر بودن پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی از زیرزمینی بود (۱۳ و ۵۳).

بنابراین، با توجه به پایین بودن میزان ماده آلی خاک (۱۵، ۳۵ و ۳۲) و تأثیر مثبت بقایای گیاهی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به ویژه محتوی کربن آلی، توصیه می‌شود مصرف بقایای اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا را جهت بهبود ماده آلی خاک به ویژه در بوم‌نظام‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مدنظر قرار داد که از این طریق می‌توان ترسیب کربن خاک را نیز بهبود بخشید. بهبود پتانسیل ترسیب کربن، معادل افزایش زیست‌توده گیاهی، افزایش تولید، بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و جلوگیری از فرسایش است (۲۱). بنابراین، از آنجا که زیست‌توده گیاهی در ترسیب کربن و کاهش غلظت این گاز نقش مؤثری دارد، بنابراین هرگونه اقدامی که باعث افزایش پوشش گیاهی گردد، به طور غیرمستقیم در بهبود ترسیب کربن تأثیرگذار خواهد بود.

ب) برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی: بررسی مجموع انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای شامل CO_2 ، N_2O و CH_4 مشخص نمود که بیشترین مجموع انتشار این گازها برای تولید کلزا در بوم‌نظام‌های زراعی استان خراسان رضوی برای مصرف کودهای نیتروژنه با ۰/۶۸۸ تن CO_2 محاسبه گردید. کمترین مجموع انتشار این گازها در تولید این محصول در مقایسه بین کودهای پرمصرف برای پتاسیم با ۰/۱۸۶ تن CO_2 بدست آمد. در بین انواع سموم شیمیایی مورد استفاده نیز بالاترین مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای برای علف‌کش (با ۰/۱۳۹ تن CO_2) محاسبه شد که ۷۸ درصد بالاتر از انتشار گازهای گلخانه‌ای برای قارچ‌کش بود (شکل ۳).



شکل ۳- مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای کلزا.

Figure 3. Total emissions of green house gases for canola.

میزان انتشار این گازها برای کودهای نیتروژن به مراتب بالاتر از دیگر نهاده‌های شیمیایی بود که این امر مربوط به ضریب انتشار بالاتر نیتروژن (۱/۳ کیلوگرم CO₂ به ازای مصرف هر کیلوگرم کود نیتروژن) نسبت به کودهای فسفره و پتاسیم و آفت‌کش‌ها می‌باشد (۴۶). البته بایستی توجه کرد که فرآیند تثبیت نیتروژن نیز بسیار هزینه‌بر بوده و برای تولید این نهاده شیمیایی به‌طور مستقیم از سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منبع انرژی کارخانه استفاده می‌شود. علاوه بر این، مصرف کود اوره به عنوان عنصر اصلی با تحریک رشد گیاه موجب تنفس بیشتر ریشه و ریز موجودات خاکزی شده که از این طریق نیز افزایش انتشار گاز دی‌اکسید کربن را باعث می‌گردد (۱۴). تأثیر نیتروژن در تولید N₂O نیز توسط دالال و همکاران (۲۰۰۳) ثابت شده است (۶). اشنایدر و همکاران (۲۰۰۹) خاطر نشان ساختند که تولید کود اوره یکی از اصلی‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (۴۶). رجبی و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که کود شیمیایی نیتروژن یکی از مهمترین نهاده‌های دخیل در انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی می‌باشد (۳۹). نتایج اشنایدر 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 منبع اصلی تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای به خصوص دی‌اکسید کربن و اکسید نیتروژن به جو محسوب می‌شود (۴۶). کارل و همکاران (۲۰۱۰) نیز با بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف کود نیتروژن در چین گزارش نمودند که با افزایش مصرف کود

شیمیایی نیتروژن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش یافت (۲۴). نتایج مطالعه یوسفی و همکاران (۲۰۱۴ ب) نشان داد که انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید ذرت ناشی از مصرف کود نیتروژن بیشتر از فسفر و آن هم بیشتر از پتاسیم بود. همچنین، در هر خصوص سه نهاده مصرفی، CO_2 بیشترین و N_2O کمترین میزان انتشار را دارا بودند (۵۵). یوسفی و همکاران (۲۰۱۴ الف) با بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندر قند (*Beta vulgaris*) گزارش نمودند که نقش کود نیتروژن در انتشار گازهای گلخانه‌ای بیش از سه برابر فسفر بود (۵۴). نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف کودهای نیتروژنه ۱/۱۹ برابر کودهای فسفره و ۲/۸۵ برابر کودهای پتاسه بود (شکل ۳). علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید تحت تأثیر مصرف زیاد نهاده‌های شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنه، بررسی‌ها نشان داده است که بیش از ۵۰ درصد نیتروژن مورد استفاده از طریق آبشویی و تصعید از دسترس گیاه خارج می‌شود (۵۰)، دنیتریفیکاسیون نیز منبع اصلی انتشار N_2O از خاک می‌باشد (۶). ترشح مواد گیاهی از ریشه و تراوه‌های ریشه‌ای به عنوان منبع اصلی کربن برای ریزموجودات دخیل در دنیتریفیکاسیون محسوب شده که افزایش این مواد از طریق تشدید فعالیت این ریزموجودات باعث افزایش انتشار گاز دی اکسید کربن به جو می‌شود (۳۱). بدین ترتیب، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش مصرف انواع نهاده‌های آلی را می‌توان به عنوان راهکاری بوم‌شناختی در مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های زراعی مدنظر قرار داد که از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تخفیف^۱ تغییر اقلیم را بدنبال دارد.

سهم کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس از پتانسیل گرمایش جهانی (۱/۵۳ تن معادل CO_2 به ازای یک هکتار) به ترتیب ۴۵، ۳۸ و ۱۶ درصد تعیین گردید. در حالی که سموم شیمیایی شامل قارچ‌کش و علف‌کش مورد استفاده به ترتیب ۰/۹ و ۰/۵ درصد از این پتانسیل را به خود اختصاص دادند (شکل ۳). بنابراین، از آنجا که مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف نیتروژن در بین سایر نهاده‌ها بالاترین میزان را به خود اختصاص داد، در نهایت، بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی در بین نهاده‌های مورد استفاده در نظام تولید کلزا برای کودهای نیتروژنه بدست آمد. بدین ترتیب، همانطور که از نتایج برمی‌آید، مصرف نیتروژن نقش مهمی در تشدید پتانسیل گرمایش جهانی داشت؛ به طوری که افزایش مصرف این عنصر موجب تشدید پتانسیل گرمایش جهانی می‌گردد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) نیز بیان

نمودند که استفاده زیاد از سوخت‌های فسیلی و نهاده‌های شیمیایی در بوم‌نظام‌های زراعی رایج یکی از مهمترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای به جو و پتانسیل تشدید گرمایش جهانی محسوب می‌شود (۵۶). داتا و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی تاثیر کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر انتشار گاز گلخانه‌ای متان در هند، اظهار داشتند که با افزایش هر یک از این نهاده‌ها انتشار متان به عنوان مهمترین گاز مؤثر در تشدید گرمایش جهانی به طور معنی‌داری افزایش یافت (۷). خوشنویسان و همکاران (۲۰۱۳) نیز تایید نمودند که نقش کود شیمیایی نیتروژن در پتانسیل گرمایش جهانی بسیار بیشتر از فسفر و پتاسیم بوده و استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی سهم ناچیزی از این پتانسیل را شامل می‌شوند (۲۶). نتایج مطالعه یوسفی و همکاران (۲۰۱۴ الف) نشان داد که پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف نیتروژن و فسفر در تولید چغندر قند به ترتیب حدود ۱۴۴۶ و ۴۵۶ کیلوگرم در هکتار بود (۵۴). محمدی و همکاران (۲۰۱۴) پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف کود شیمیایی نیتروژن را برای گندم، جو (*Hordeum vulgare*) و ذرت (*Zea mays*) به ترتیب حدود ۷۵، ۶۹ و ۱۱۵ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند. در رابطه با مصرف فسفر و پتاسیم، پتانسیل گرمایش جهانی در ذرت بیشتر از گندم و جو بود و جو کمترین میزان این صفت را به خود اختصاص داد. آنها روند پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی را برای گندم، جو و ذرت متناسب با میزان کودهای شیمیایی گزارش نمودند (۳۳). یوسفی و همکاران (۲۰۱۴ ب) گزارش نمودند که پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف کود نیتروژن حدود سه برابر فسفر بود. پتاسیم نیز کمترین میزان پتانسیل گرمایش جهانی را شامل شد (۵۵). بدین ترتیب، از آنجا که مصرف نیتروژن و سایر نهاده‌های شیمیایی نقش مهمی در تشدید پتانسیل گرمایش جهانی و تغییر اقلیم دارد و تولیدات کشاورزی عمدتاً بر پایه مصرف این نهاده‌های شیمیایی انجام می‌شود، توصیه می‌شود مصرف نهاده‌های آلی و وارد کردن گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن را به‌عنوان راهکاری بوم‌شناختی به منظور جایگزینی برای کودهای شیمیایی مدنظر قرار داد.

نتیجه‌گیری کلی

ضرایب تبدیل و پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا به‌طور معنی‌داری مختلف بودند. به‌طوری‌که میانگین ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی بالاتر از ریشه تعیین شد. مجموع پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی برابر با ۵/۱۲ تن در هکتار بدست آمد، به‌طوری‌که بالاترین

و پایین‌ترین پتانسیل ترسیب کربن به‌ترتیب برای ساقه با ۱/۸۱ تن در هکتار و برگ با ۰/۷۶ تن در هکتار بدست آمد. وجود بافت خشبی‌تر در ساقه و همچنین وزن بالاتر آن در مقایسه با سایر اندام‌های گیاهی موجب افزایش پتانسیل ترسیب کربن آن شد. بدین‌ترتیب، با توجه به پایین بودن میزان ماده آلی خاک و تأثیر مثبت بقایای گیاهی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به‌ویژه محتوی کربن آلی، توصیه می‌شود 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 خاک را نیز بهبود بخشید.

سهم کودهای نیتروژنه، فسفره و پتاسه مصرف شده در مزارع کلزا از پتانسیل گرمایش جهانی (۱/۵۳ تن معادل CO₂ به ازای یک هکتار) به‌ترتیب ۴۵، ۳۸ و ۱۶ درصد تعیین گردید. در حالی که سموم شیمیایی شامل قارچ‌کش و علف‌کش مورد استفاده به‌ترتیب ۰/۹ و ۰/۵ درصد از این پتانسیل را به خود اختصاص دادند. بدین‌ترتیب، از آنجا که مصرف نیتروژن نقش مهمی در تشدید پتانسیل گرمایش جهانی دارد و تولیدات کشاورزی عمدتاً بر پایه مصرف این نهاده شیمیایی انجام می‌شود، بنابراین توصیه می‌شود مصرف نهاده‌های آلی و وارد کردن گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن را به‌عنوان راهکاری بوم‌شناختی به منظور جایگزینی برای کودهای شیمیایی نیتروژنه مدنظر قرار داد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهش طرح شماره ۲/۳۲۴۴۱ مصوب ۱۳۹۳/۰۹/۱۶ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

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 Res., 15:2.269-282. (In Persian with English Summary)
2. 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.
3. Black, C.A. 1965. Methods of Soil Analysis. (V.I). Am. Soc. Agronomy. 1572 pp.
4. 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 and sazandegi), Pajouhesh Sazandegi., (70): 95-103. (in Persian with English Summary)
5. 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.
 6. Dalal, R.C., Wang, W., Robertson, P., and Parton, W.J. 2003. Nitrous oxide emission from Australian agriculture lands and mitigation options: a review. Aust. J. Soil Res., 41:165-195.
 7. Datta, A., Santra, S.C., and Adhya, T.K. 2013. Effect of inorganic fertilizers (N, P, K) on methane emission from tropical rice field of India. Atmos. Environ., 66:123-130.
 8. Duxbury, J.M., Harper, L.A., and Moiser, A.R. 1993. Contributions of agroecosystems to global climate change. (Eds. Harper, L., Duxbury, J.M., Moiser, A.R., and Rolstonj, D.S.) In: "Agroecosystems effects on radioactively important trace gases and global climate change". ASA Publications, No. 55. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, Pp: 1-18.
 9. Falloon, P.D., Smith1, 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.
 10. 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.
 11. 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 and sazandegi), Pajouhesh Sazandegi., (78):11-19. (In Persian with English Summary)
 12. Froozeh, M.R., and Mirzaali, E. 2006. The effects of enclosure on carbon sequestration in the dominant species and soil surface in saline range lands: a case study of Gomishan Rangelands. Abstract Book of 8th International Conference on Development of Dry lands. 25-28 February, Beijing, China. p. 35-36.
 13. Gao, Y.H., Lue, P., Wu, C.H., and Wang, G.X. 2007. Grazing intensity impacts on carbon sequestration in an Alpine Meadow on the Eastern Tibetan Plateau. J. Agric. Biol. Sci., 3:6.642-647.
 14. 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.

15. Hajabbasi, M.A., and Hemmat, A. 2000. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam soil in central Iran. *Soil Till. Res.*, 59: 205-212.
16. 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.
17. Hutchinson, J.J., Campbell, C.A., and Desjardins, R.L. 2007. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agric. Forest Meteorol.*, 142:288-302.
18. Ingram, J.S.I., and Fernandez, E.C.M. 2001. Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 87:111-117.
19. IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental panel on climate change. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual, Vol. 4.
20. 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.
21. Jafarian, Z., and Tayefeh Seyyed Alikhani, L. 2013. Carbon sequestration potential in dry farmed wheat in Kiasar region. *Agric. Knowl. Sust. Prod.*, 23:1.31-41. (In Persian with English Summary)
22. Jenkinson, D.S. 1988. Soil organic matter and its dynamics. In: "Wild, A. (Ed.), Soil Conditions and Plant Growth", 11th ed. Longman, New York, pp. 564-607.
23. Jihad Keshavarzi Khorasan Razavi. 2013. Statistical Yearbook of agriculture. Jihad Keshavarzi Khorasan Razavi. Mashhad, Iran 219 pp. (In Persian)
24. Kahrl, F., Li, Y., Su, Y., Tennigkeit, T., and Wilkes, A. 2010. Greenhouse gas emissions from nitrogen fertilizer use in China. *Environ. Sci. Policy.*, 13:688-694.
25. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorasani, R., and Ghorbani, R. 2013. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. *Soil Till. Res.*, 133:25-31.
26. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., and Movahedi, M. 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy.*, 52:333-338.
27. Lal, R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environ. Int.* 30(7):981e90.
28. Lal, R., and Kimble, J.M. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutr. Cyc. Agroecosys.*, 49:1-3.243-253.
29. Ma, Z. 1999. Carbon sequestration by switchgrass. PhD Thesis of Graduated Faculty of Auburn, University, Alabama. 124 pp.
30. Mahdavi, K., Sanadgol, A., Azarnivand, H., Babaei Kafaki, S., Jafari, M., Maleki, M., and Malekian, A. 2009. Effects of removing aerial biomass and

- density on carbon sequestration and weight of *Atriplex lentiformis*. Asia J. Plant Sci., 8:183-186.
31. Maraseni, T.N., and Cockfield, G. 2011. Does the adoption of zero tillage reduce greenhouse gas emissions? An assessment for the grains industry in Australia. Agric. Sys., 104:451-458.
32. Mc Conkey, B.G., Liang, B.C., Campbell, C.A., Curtin, D., Moulin, A., Brandt, S.A., and Lafond, G.P. 2003. Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. Plant Soil., 74:1.81-90.
33. Mohammadi, A., Rafiee, Sh., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H., and Nonhebel, S. 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. Renew. Sust. Energ. Rev., 30:724-733.
34. 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.
35. Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., Hemmat, A., and Afyuni, M. 2000. Soil compatibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. Soil Till. Res., 55: 87-97.
36. Najmoddini, N. 2013. Effects of mechanical structural operations to improve watershed management in carbon sequestration for climate change mitigation (Case Study: Watershed Gavdareh in Kurdistan province). The 2nd National Conference on Climate Change and Agriculture, August 23, Urmia. (in Persian)
37. 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.
38. 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.
39. 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.
40. Rajabi, M.H., Soltani, A., Zeinali, E., and Soltani, E. 2012. Evaluation of greenhouse gas emission and global warming potential in wheat production in Gorgan, Iran. Elect. J. Crop Prod., 5(3): 23-44.
41. Robertson, G.P., Paul, E.A., and Harwood, R.R. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. Science., 289:1922-1925.
42. Schulp, C.J.E., Naburus, G.J., Verburg, P.H., and Waal, R.W. 2008. Effect of tree species on carbon stock in forest floor and mineral soil and implication for soil carbon inventories. Forest Ecol. Manag., 256: 482-490.

43. Shirani, H., Hajabbasi, M.A., Afyunia, M., and Hemmat, A. 2002. Effects of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. *Soil Till. Res.*, 68:101-108.
44. Singh, G., Bala, N., Chaudhuri, K.K., and Meena, R.L. 2003. Carbon sequestration potential of common access resources in arid and semi-arid regions of northwestern India. *Indian For.*, 129:7.859-864.
45. Smith, P., Powlson, D.S., and Glendining, M.J. 1996. Establishing a European soil organic matter network (SOMNET). In: "Powlson, D.S., Smith, P., Smith, J.U. (Eds.)", *Evaluation of Soil Organic Matter Models using Existing, Long-Term Datasets*, NATO ASI Series I, Vol. 38. Springer-Verlag, Berlin, pp. 81-98.
46. 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.
47. Tamartash, R., Tatian, M.R., Yousefian, M. 2012. The ability of different vegetative forms to carbon sequestration in plain rangeland of Miankaleh. *J. Environ. Stud.*, 38:62.45-54.
48. Thelen, K.D., Fronning, B.E., Kravchenko, A., Min, D.H., and Robertson, G.P. 2010. Integrating livestock manure with a corn-soybean bioenergy cropping system improves short-term carbon sequestration rates and net global warming potential. *Biomass Bioenerg.*, 34:960-966.
49. Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., Jaggard, K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agric. Sys.*, 85: 101-119.
50. Verge, X.P.C., Kimpe, C.D., and Desjardins, R.L. 2007. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. *Agric. Forest Meteorol.*, 142:255-269.
51. 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.
52. Yan, H., Cao, M., Liu, J., and Tao, B. 2007. Potential and sustainability for carbon sequestration with improved soil management in agricultural soils of China. *Agric. Ecosys. Environ.*, 121: 4.325-335.
53. Yong, Z.S. 2007. Soil Carbon and nitrogen sequestration following the conversion of cropland to alfalfa land in northwest china. *J. Soil Till. Res.*, 92:181-189.
54. Yousefi, M., Khoramivafa, M., and Mondani, F. 2014a. Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris*) agroecosystems in Iran. *Atmos. Environ.*, 92: 501-505.

55. Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A.M., and Khoramivafa, M. 2014b. Energy consumption, greenhouse gas emissions and assessment of sustainability index in corn agroecosystems of Iran. *Sci. Total Environ.*, 493: 330–335.
56. Zhang, Y., Li, Z., Feng, J., Zhang, X., Jiang, Y., Mingqian, J.C., Deng, A., and Zhang, W. 2014. Differences in CH₄ and N₂O emissions between rice nurseries in Chinese major rice cropping areas. *Atmos. Environ.*, 96:220-228.
57. Daudu, C.K., Muchaonyerwa, P., and Mnkeni, P.N.S. 2009. Litterbag decomposition of genetically modified maize residues and their constituent *Bacillus thuringiensis* protein (Cry1Ab) under field conditions in the central region of the Eastern Cape, South Africa. *Agric. Ecosys. Environ.*, 134: 153–158.
58. Russell, A.E., Laird, D.A., Parkin, T.B., and Mallarino, A.P. 2005. Impact of nitrogen fertilization and cropping system on carbon sequestration in Midwestern Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69: 413-422.

