نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۱۷-۵۹۳

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 593-617

مقاله پژوهشی

ارزیابی خدمات و بیلان کربن خاک در اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی در استان خراسان

علیرضا کوچکی[1*] و سرور خرم دل[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۳

کوچکی، ع.، و خرم دل، س.، ۱۴۰۰. ارزیابی خدمات و بیلان کربن خاک در اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی در استان خراسان. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۶۱۷-۵۹۳.

چکیده

به‌منظور ارزیابی خدمات و کارکردهای خاک تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف پرنهاده و کم‌نهاده در استان خراسان، نمونه‌برداری از ۱۰ مکان تحت مدیریت‌های مختلف زراعی و باغی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار نمونه به‌عنوان تکرار از هر نوع مدیریت در بهار سال ۱۳۹۳ انجام شد. نمونه-برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک در مزارع کم‌نهاده شامل مزارع چندساله زعفران و باغات میوه و مزارع پرنهاده یک‌ساله کشاورزان شامل گندم و ذرت و مزارع ساله آزمایشی (مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد) برداشت و خصوصیات مختلف فیزیکی (شامل وزن مخصوص ظاهری)، شیمیایی (شامل محتوی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، شاخص واکنش و هدایت الکتریکی) و بیولوژیکی (میزان کربن زیست‌توده میکروبی، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و دهیدروژناز) اندازه‌گیری شد. سطح زیر کشت و میزان مصرف نهاده‌های شیمیایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش محصولات زراعی شامل گندم، گوجه‌فرنگی، یونجه، ذرت، سیب‌زمینی، چغندرقند و کلزا طی سال ۱۳۹۳ تعیین شد. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن (CO_2)، اکسید نیتروژن (N_2O) و متان (CH_4) با استفاده از ضرایب انتشار و سپس پتانسیل گرمایش جهانی تعیین گردید. نتایج نشان داد که اثر نوع مدیریت اکوسیستم بر کلیه خصوصیات مورد مطالعه خاک به‌جز شاخص واکنش معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. به‌کارگیری مدیریت پرنهاده و رایج در مزارع آزمایشی و یک‌ساله کشاورزان باعث کاهش محتوی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، هدایت الکتریکی، کربن زیست‌توده میکروبی، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و دهیدروژناز و ترسیب کربن خاک در مقایسه با مزارع چندساله زعفران شد، در حالی‌که وزن مخصوص ظاهری افزایش یافت. بیشترین و کمترین کربن آلی خاک به‌ترتیب برای باغ-های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله آزمایشی با ۰/۱۰۴ و ۰/۰۳۶ درصد حاصل شد. بیشترین و کمترین کربن ترسیب شده خاک به‌ترتیب برای باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله آزمایشی با ۳۵۵/۳۱ و ۱۸۲/۴۸ کیلوگرم کربن در هکتار مشاهده شد. اجرای عملیات مدیریتی در مزارع چندساله، مزارع یک‌ساله ذرت و مزارع یک‌ساله گندم به‌ترتیب موجب کاهش ۱۲، ۳۵ و ۴۱ درصدی کربن ترسیب شده خاک در مقایسه با باغ‌های چندساله شد. بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی برای سیب‌زمینی با ۳/۶۹ تن معادل CO_2 به‌ازای هر هکتار محاسبه شد که نسبت به گندم، چغندرقند، گوجه‌فرنگی و ذرت به‌ترتیب ۵۳، ۳۷، ۱۶ و ۱۲ درصد بالاتر بود. کمترین پتانسیل گرمایش جهانی برای کلزا با ۱/۳۵ تن معادل CO_2 به‌ازای هر هکتار به‌دست آمد. بدین-ترتیب، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش مصرف انواع نهاده‌های آلی را می‌توان به‌عنوان راهکاری اکولوژیک در مدیریت پایدار اکوسیستم‌های زراعی مدنظر قرار داد که از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن تخفیف تغییر اقلیم را به دنبال دارد.

واژه‌های کلیدی: انتشار گاز گلخانه‌ای، کود شیمیایی، مدیریت پرنهاده، مزرعه چندساله، نهاده آلی

مقدمه

خاک دامنه وسیعی از خدمات و کارکردها را فراهم می‌کند و از

۱- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

(* Corresponding author: akooch@um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v1i1.46433

این طریق، مزایای زیادی را بـه همـراه دارد (Daily et al., 1997). اجرای عملیات مناسب مدیریتی قادر خواهد بود تا اثـرات مثبتـی بـر تشکیل، چرخه عناصر غذایی و تولید اولیه خاک به همراه داشته باشد. نتایج برخی مطالعات (Bengtsson et al., 2005; Pimentel et al., 2005; Fliessbach et al., 2007) مؤید همبستگی مثبت و معنی‌دار مدیریت‌های اکولوژیک خاک با شاخص‌های کلیدی کیفیت آن مـی-باشد. افزایش محتوی ماده آلی خاک از طریق برخی کارکردهای مهم در اکوسیستم‌های کشاورزی شامل بهبـود چـرخش بیوژئوشـیمیایی، بازگشت عناصر غذایی، ثبات و تشکیل دانـه‌بنـدی خـاک، تصـفیه و پاک‌سازی آب و بهبود ظرفیت نگهداری آن، تنظیم pH خاک، کاهش فرسایش و در نهایت، تقویت رشد گیـاه، موجـب بهبـود خصوصـیات کیفـی آن مـی‌شـود (Mäder et al., 2002; Weil & Magdoff, 2004). درینکـواتر و همکـاران (Drinkwater et al., 1995) تأییـد نمودند که pH، محتوی کربن آلی و نیتروژن و پتانسیل معدنی شدن نیتروژن در مزارع گوجه‌فرنگی تحت مدیریت ارگانیک و کم‌نهاده بـه مراتب بالاتر از مزارع رایج بود. نتایج برخی دیگر از مطالعات (Mäder et al., 2002; Edmeades, 2003; Verbruggen et al., 2010) نیز نشان داده است که خصوصیات فیزیکی، شـیمیایی و بیولـوژیکی خاک به‌ویژه سرعت نفوذ آب، ثبات و دانه‌بندی خاک‌دانه‌ها، محتـوی عناصر غذایی کم‌مصرف و هم‌زیستی میکوریزایی در مدیریت ارگانیک بالاتر از مدیریت رایج می‌باشد (Kremen & Miles, 2012). سیالابا و مـولر-لینـدلاف (Scialabba & Müller-Lindenlauf, 2010) اظهار نمودند که اکوسیستم‌های کـم‌نهـاده از طریـق افـزایش تنـوع زیستی و بهبود حاصلخیزی خاک انعطاف‌پذیری زیادی برای مقابله با پدیده‌های زیست‌محیطی چون تغییر اقلیم دارند.

از آنجا که خاک به‌عنوان منبع تأمین‌کننده عناصـر غـذایی و آب مورد نیاز گیاهان بوده و مخزنی برای آلاینده‌ها محسوب می‌شود، لذا تغییر در کیفیت آن می‌تواند تخریب محـیط زیسـت را موجـب شـود (Bhardwaj et al., 2011). بخش زیادی از این خـدمات بـه‌وسـیله فعالیت دامنه وسیعی از ریزجانداران خاکزی ایجاد می‌گردد (Lavelle et al., 2006). نتایج مطالعه رگانولد و همکاران (Reganold et al., 2010) مؤید این مطلب است که خاک دارای ماده آلی بیشتر و تنـوع میکروبی بالاتر، چرخش کامل‌تری را دارا می‌باشد.

برخی محققان بر این باورند که برای حفظ کارکردهـا و خـدمات بوم‌نظام لازم است ابتدا از طریق مدیریت خاک، این نوع کارکردها را بهبـود بخشـید (Jackson et al., 2009; Hajjar et al., 2008; Hooper et al., 2005). تغییر در کاربری اراضی به‌طـور معنـی‌داری کارکردها و خدمات خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Kreuter et al., 2001). در همین راستا، لاول و همکـاران (Lavelle et al., 2006) نتیجه گرفتند که مدیریت صحیح خاک، بهبود کارکرد اکوسیستمی را موجب می‌گردد. در سیستم بدون خـاک‌ورزی، کـاهش بـر هـم زدن خاک و تجمع بقایای گیاهی در مقایسه با خاک‌ورزی رایج، با تأثیر بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، کارکردهای آن را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد (Six et al., 2000). بهادار و همکاران (Bahadar et al., 2007) دریافتند که خاک‌ورزی مؤثرترین فعالیت مدیریتی است که خصوصیات فیزیکـی و شـیمیایی خـاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

حذف کارکردهای خاک از طریق افزایش مصرف کودها و سـموم شیمیایی هزینه‌های تولید را بالا می‌برد (Kremen & Miles, 2012) که این امر علاوه‌بـر تخریـب خـاک، پرغـذایی آب‌هـای سـطحی و زیرزمینی، تلفات تنوع زیستی، افزایش انتشـار گازهـای گلخانـه‌ای و کاهش کیفیت محصولات تولید شده را نیز به دنبال دارد (Tilman et al., 2002; Diaz et al., 2008; Hayes et al., 2010; Gomiero et al., 2011). تخریب اکوسیستم اغلـب منجـر بـه کـاهش شـدید دسترسی به منابع خاک می‌گردد (Imeson, 2011). دلیل این امر بـر طبق گزارش لال (Lal, 2007) عمدتاً مربـوط بـه کـاهش محتـوی کربن آلی خاک می‌باشد. برادی و ویل (Brady & Weil, 2002) نیز بر این باورند که کربن آلی به‌شدت کارکردهای خاک را تحـت تـأثیر قرار می‌دهد. از طرف دیگـر، راهکارهـای مـدیریتی مـؤثر بـر بهبـود محتوی کربن آلی، نقش مؤثری را در ارتقای کارکردهای اکوسیستمی ایفـا مـی‌کنـد (Lal, 2010). برخـی دیگـر از محققـان (Tengo & Belfrage, 2004; Lin, 2011) اظهار داشـته‌انـد کـه بـا توجـه بـه کارکردهای خاک، می‌توان انعطاف‌پذیری سیستم‌هـا را در مقابلـه بـا تنش‌ها و تخریب‌هایی نظیر خشکی و حمله آفات و بیماری‌ها بهبـود بخشید.

مصرف کودها و سموم شیمیایی، سوخت‌های فسیلی، کاربرد کود دامی ها و سوزاندن بقایای آلی از جمله مهم‌ترین منابع انتشـار انـواع گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی محسوب می‌شود. غلظت انواع اکسیدهای نیتروژنه طی دو قرن گذشته به‌دلیل افزایش فعالیت‌هـای بشر تا ۱۳ درصد افزایش یافته اسـت (EPA, 1998). رونـد افـزایش

مصرف کودهای نیتروژن در کشور طی سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ شمسی در حدود ۳۲۵ درصد بوده است (MAJ, 2012). میزان انتشار جهانی N_2O و NO تحت تاثیر فعالیت‌های مختلف کشاورزی به‌ترتیب ۴/۸-۱/۷ و ۱/۶ تِرا گرم در سال گزارش شده است (Yao et al., 2009). اگرچه میزان انتشار اکسید نیتروس کمتر از سایر گازهای گلخانه‌ای است، امّا سهم هر واحد N_2O در پتانسیل گرمایش جهانی به مراتب بیشتر از گازهای دیگر می‌باشد، به‌طوری‌که سهم هر واحد از گازهای CO_2، CH_4 و N_2O به‌ترتیب برابر با ۱، ۲۱ و ۳۱۰ برآورد گردیده است (Rodhe, 1990). بدین ترتیب، ارزیابی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از اکوسیستم‌های زراعی می‌تواند نقش بسزایی در افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها و به‌کارگیری کشاورزی زیستی و بوم-سازگار داشته باشد.

بنابراین، با توجه به اینکه امروزه در کشاورزی رایج، عملکرد به عنوان مهمترین خدمات گروه تامین‌کننده تنها معیار ارزیابی است و خاک به‌عنوان اساس حیات، می‌تواند دارای کارکردهای متعددی در گروه خدمات حمایتی باشد، ارزیابی و تعیین چنین شاخص‌هایی در خاک‌های تحت مدیریت‌های مختلف می‌تواند ارزش واقعی این جزء حیات را روشن سازد. بدین ترتیب، این مطالعه با هدف مقایسه خدمات اکوسیستم‌های مختلف مدیریتی در استان خراسان و برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی در تعدادی از محصولات مهم انجام شد.

مواد و روش‌ها

الف) ارزیابی خدمات و کارکردهای خاک

به‌منظور ارزیابی خدمات و کارکردهای خاک تحت تأثیر مدیریت-های مختلف پرنهاده و کم‌نهاده در استان خراسان، نمونه‌برداری از ۱۰ محل تحت مدیریت‌های مختلف زراعی و باغی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار نمونه به‌عنوان تکرار از هر نوع مدیریت در بهار سال ۱۳۹۳ انجام شد. نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک در مزارع کم‌نهاده شامل مزارع چندساله زعفران و باغات میوه و مزارع پرنهاده یک‌ساله کشاورزان شامل گندم و ذرت و مزارع یک‌ساله آزمایشی (مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد) برداشت و خصوصیات مختلف فیزیکی (شامل وزن مخصوص ظاهری)، شیمیایی (شامل محتوی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، pH و هدایت الکتریکی) و بیولوژیکی (میزان کربن زیست‌توده میکروبی، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و دهیدروژناز) اندازه‌گیری شد.

جهت تعیین محتوی کربن آلی خاک از روش اکسایش با دی کرومات استفاده شد (Walkley & Black, 1934). تعیین میزان نیتروژن با استفاده از روش کجلدال انجام شد (Bremner, 1970). وزن مخصوص ظاهری خاک با استفاده از روش کلوخه و پارافین تعیین شد (Black, 1965). تعیین بافت خاک به‌روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، تعیین pH در گل اشباع و تعیین هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع با استفاده از روش ارائه شده توسط مک‌لین (Mc Lean, 1982) و زیست‌توده میکروبی با استفاده از روش تدخین- انکوباسیون (Jenkinson & Powlson, 1976) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز بر مبنای میلی‌گرم نیتروفنول در گرم خاک در ساعت بر اساس روش سوواناونگ و همکاران (Souvannavong et al., 1997) انجام شد. فعالیت آنزیم دهیدروژناز مطابق با روش گارسیا و همکاران (García et al., 1997) تعیین گردید.

میزان کربن ترسیب شده در خاک با استفاده از معادله ارائه شده توسط ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2013) محاسبه شد (معادله ۱).

$$SCS = p_b \times T \times SOC \times 10000 \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، SCS: کربن ترسیب شده در خاک (کیلوگرم در هکتار)، p_b: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، T: عمق نمونه‌برداری خاک (متر) و SOC: کربن آلی خاک (گرم بر کیلوگرم) می‌باشد.

تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چندامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. نمودارها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

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 تعدادی از محصولات مهم زراعی شامل گندم، گوجه‌فرنگی، یونجه، ذرت، سیب‌زمینی، چغندرقند و کلزا طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به‌صورت مراجعه حضوری به اداره جهاد کشاورزی استان و همچنین با استفاده از

اطلاعات سایت وزارت جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی استخراج شد (Jihad Keshavarzi Khorasan Razavi, 2013). میزان مصرف نهاده‌های شیمیایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش به‌صورت تکمیل ۵۰ پرسشنامه به‌ازای هر گیاه و مصاحبه حضوری از کشاورزان جمع‌آوری شد.

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای دی اکسید کربن (CO_2)، اکسید نیتروژن (N_2O) و متان (CH_4) با استفاده از ضرایب انتشار محاسبه شد (جدول ۱).

جدول ۱- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای برای هر کیلوگرم نهاده‌های شیمیایی مورد استفاده در اکوسیستم‌های زراعی

Table 1- GHGs emission coefficient per kg application of chemical inputs in agroecosystems

نهاده Input (kg)	دی‌اکسید کربن CO_2 (kg)	اکسید نیتروژن N_2O (g)	متان CH_4 (g)	منبع Reference
نیتروژن N	1.3	1.25	3.70	IPCC, 2006; Snyder et al., 2009
فسفر P	0.2	1.25	1.80	IPCC, 2006; Snyder et al., 2009
پتاسیم K	0.15	1.25	1.00	IPCC, 2006; Snyder et al., 2009
علف‌کش Herbicide	6.30	–	–	Lal, 2004
حشره‌کش Insecticide	5.1	–	–	Lal, 2004
قارچ‌کش Fungicide	3.9	–	–	Lal, 2004

به‌منظور محاسبه‌پتانسیل گرمایش جهانی، میزان انتشار دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن برای هر محصول به‌طور جداگانه با استفاده از ضرایب ارائه شده در جدول ۱ تعیین شد (Thelen et al., 2010; Robertson et al., 2000). از آنجا که اثر هر یک از گازهای دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن بر پتانسیل گرمایش زمین متفاوت می‌باشد (IPCC, 2007)، لذا واحد این شاخص به‌صورت معادل دی اکسید کربن محاسبه گردید (معادله ۲).

معادله (۲)

$$GWP = CO_2\ flux + (N_2O\ flux \times 310) + (CH_4\ flux \times 21)$$

در این معادله، GWP: پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی اکسیدکربن در هکتار)، CO_2 flux: انتشار دی اکسید کربن حاصل از مصرف نهاده‌های شیمیایی، N_2O flux: انتشار اکسید نیتروژن حاصل از مصرف نهاده‌های شیمیایی و CH_4 flux: انتشار متان حاصل از مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌باشد.

نتایج و بحث

الف) ارزیابی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و خدمات و کارکردهای خاک

نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین اثر نوع مدیریت رایج و کم‌نهاده بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

اثر نوع مدیریت خاک بر محتوی کربن آلی: محتوی کربن آلی خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع مدیریت اکوسیستم قرار گرفت ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۲). بیشترین و کمترین محتوی کربن آلی خاک به‌ترتیب برای باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله آزمایشی با ۰/۱۰۴ و ۰/۰۳۶ درصد حاصل شد. به‌کارگیری مدیریت‌های مختلف در مزارع چندساله و مزارع فشرده یک‌ساله ذرت و گندم موجب کاهش میزان کربن آلی خاک به‌ترتیب برابر با ۲۴، ۵۷ و ۵۹ درصد در مقایسه با محتوی کربن آلی در باغ‌های چندساله شد (شکل ۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع مدیریت بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک

Table 2– Analysis of variance (mean of squares) for the effect of management types on physical, chemical and biological criteria of soil

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن کل Total N	فسفر قابل دسترس Available P	پتاسیم قابل دسترس Available K	وزن مخصوص ظاهری Pb	هدایت الکتریکی EC	شاخص واکنش pH	فعالیت آنزیم دهیدورژناز Dehydrogenase enzyme activity	فعالیت آنزیم فسفاتاز Phosphatase enzyme activity	کربن زیست‌توده میکروبی Microbial biomass carbon	ترسیب کربن Carbon sequestration
نوع مدیریت Management type	4	0.003**	0.0001**	1721.733**	315640.108**	0.279**	2.031**	0.008ns	20753.225**	47108.305**	57174.247**	21230.345**
خطا Error	15	0.0001	0.00001	16.586	73.48	0.003	0.016	0.016	14.150	29.011	17.684	885.563
کل Total	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات CV (%)		11.74	16.52	10.02	2.19	3.72	10.04	2.05	1.62	4.49	1.97	11.49

ns و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

Ns and **: are non significant and significant at 1% probability level, respectively.

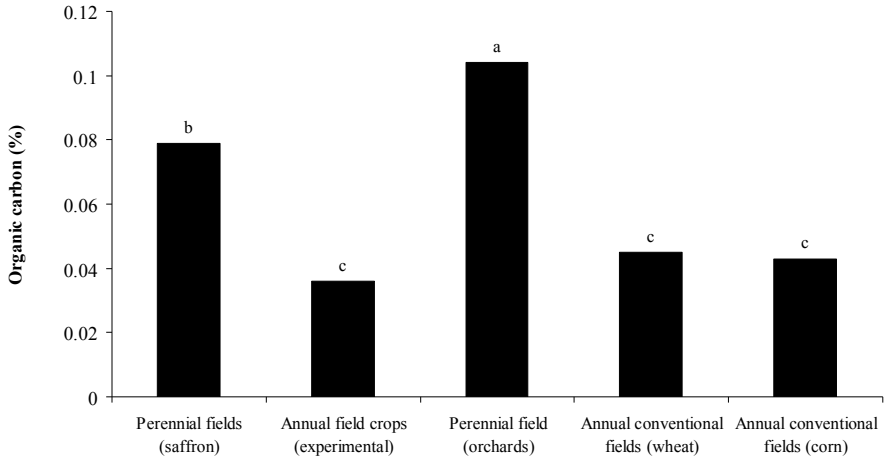
جدول ۳– مقایسه میانگین اثر نوع مدیریت بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک

Table 3– Mean comparisons for the effect of management types on physical, chemical and biological criteria of soil

نوع مدیریت Management type	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P (ppm)	پتاسیم قابل دسترس Available K (ppm)	وزن مخصوص ظاهری Bulk density ($g.cm^{-3}$)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	کربن زیست‌توده میکروبی Microbial biomass carbon (mg C $kg.soil^{-1}$)
مزارع چندساله زعفران Perennial fields (saffron)	0.024^{b}*	66.984^{a}	643.601^{b}	1.33^{b}	2.23^{a}	324.13^{b}
مزارع یک‌ساله (آزمایشی) Annual field crops (experimental)	0.013^{c}	34.122^{c}	220.267^{c}	1.72^{a}	0.74^{c}	90.26^{e}
باغ‌های چندساله Perennial fields (orchards)	0.032^{a}	57.823^{b}	749.101^{a}	1.14^{c}	1.80^{b}	353.265^{a}
مزارع یک‌ساله کشاورزان: Annual conventional fields (famers' fields): الف) ذرت a) Corn	0.016^{c}	24.179^{d}	188.305^{d}	1.73^{a}	0.74^{c}	180.47^{c}
ب) گندم b) Wheat	0.012^{c}	20.177^{d}	159.982^{e}	1.64^{a}	0.75^{c}	117.99d

* میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means with the same letter(s) in each column have not significantly different based on Duncan's multiple range test at 5% probability level.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر مدیریت‌های مختلف اکوسیستم بر محتوی کربن آلی خاک

Fig. 1- Mean comparison for the effect of different management systems on soil organic carbon content

میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) have not significantly different based on Duncan's multiple range test at 5% probability level.

به‌کارگیری خاک‌ورزی رایج با تجزیه سریع‌تر بقایای گیاهی تحت تأثیر زیر و رو کردن خاک در مزارع تحت مدیریت رایج کشاورزان و زمین‌های آزمایشی باعث پوسیدگی و تجزیه سریع‌تر مواد آلی شده که این امر در نتیجه کاهش بیشتر کربن آلی را در مقایسه با مزارع زعفران و باغات چندساله دارای مدیریت‌های بدون خاکورزی و خاک‌ورزی کاهش یافته به دنبال داشته است. علاوه‌براین، مصرف بیشتر کودهای آلی به‌جای نهاده‌های شیمیایی در اکوسیستم‌های کم-نهاده و چندساله نیز باعث افزایش محتوی کربن آلی خاک شده است. نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که اکوسیستم‌های زراعی به‌دلیل تجزیه سریع‌تر ترکیبات آلی ناشی از اجرای خاک‌ورزی فشرده، در مقایسه با اکوسیستم‌های کم‌نهاده دارای محتوی کربن آلی به مراتب پایین‌تری هستند (Bowman et al.,1999; Lal, 2002; Lal, 2004). نتایج مطالعه زان و همکاران (Zan et al., 2001) نشان داد که محتوی کربن آلی خاک در شرایط کاشت گونه‌های چندساله نسبت به اکوسیستم‌های زراعی فشرده به مراتب بالاتر بود. آن‌ها دلیل این امر را به خاک‌ورزی کاهش یافته و مصرف بیشتر نهاده‌های آلی نسبت دادند. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) میانگین محتوی کربن آلی خاک مزارع زعفران را ۰/۰۸۶ درصد گزارش نمودند. در حالی‌که میزان کربن آلی در شرایط اجرای مدیریت فشرده خاک‌ورزی به مراتب پایین‌تر بود (Rashidi & Keshavarzpour, 2008; Rashidi et al., 2008; Rashidi & Keshavarzpour, 2008). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) محتوی کربن آلی خاک زیستگاه‌های طبیعی و مرتع را به‌ترتیب ۳۶۴ و ۲۰۵ درصد بالاتر از اراضی زراعی گزارش نمودند. این محققان خاطر نشان ساختند اگرچه وجود خاک سالم برای کشاورزی ضروری است، ولی کشاورزی صنعتی و فشرده بر مبنای مصرف نهاده‌های شیمیایی، اعمال خاک‌ورزی‌های فشرده، چرای بیش از حد دام و تک‌کشتی محصولات مختلف باعث کاهش محتوی کربن آلی و بروز فرسایش شده است. چن و همکاران (Chen et al., 2009) گزارش کردند که به‌کارگیری خاک‌ورزی حفاظتی، میزان کربن آلی خاک را ۷/۳ درصد نسبت به خاک‌ورزی رایج افزایش داد. ادواردز و همکاران (Edwards et al., 1992) بیان داشتند که با اعمال مدیریت درازمدت و پایدار خاک بر پایه کاهش استفاده از کودهای معدنی و عملیات خاک‌ورزی کاهش یافته، می‌توان محتوی کربن آلی را بهبود بخشید. علاوه‌براین، مصرف نهاده‌های آلی در اکوسیستم‌های چندساله موجب بهبود محتوی کربن آلی خاک در مقایسه با اکوسیستم‌های فشرده و رایج شد. در همین راستا، کوندو و همکاران (Kundu et al., 2007) نیز گزارش کردند که افزوده شدن کود دامی در مقایسه با حاصلخیزکننده‌های شیمیایی بهبود کربن آلی خاک را به دنبال داشت. کلاپ و همکاران (Clapp

et al., 2000) نیز با بررسی محتوی کربن آلی خاک تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و مصرف نهاده‌های خارجی گزارش نمودند که عدم خاک‌ورزی (به‌عنوان مهم‌ترین عامل مدیریتی مؤثر بر محتوی کربن) و برگرداندن بقایای گیاهی بهترین تأثیر را بر بهبود محتوی کربن آلی خاک داشتند. به‌طور کلی، با توجه به بالاتر بودن محتوی کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های چندساله و کم‌نهاده که باعث بهبود ظرفیت نگهداری آب (Bushby & Marshall, 1977) و به تبع آن حفظ جمعیت ریزجانداران خاکزی در مقابل بروز تنش‌های غیرزیستی نظیر خشکی می‌شود، به نظر می‌رسد که از این طریق نیز این اکوسیستم‌های مدیریتی دارای جوامع میکروبی و فعالیت میکروبی بالاتری در مقایسه با اکوسیستم‌های رایج و یک‌ساله می‌باشند.

اثر نوع مدیریت خاک بر محتوی نیتروژن کل: نوع مدیریت اکوسیستم به‌طور معنی‌داری محتوی نیتروژن کل خاک را تحت تأثیر قرار داد ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۲). بالاترین محتوی نیتروژن خاک برای باغ‌های چندساله با ۰/۰۳۲ درصد به‌دست آمد و کمترین میزان به مزارع رایج یک‌ساله گندم با ۰/۰۱۲ درصد اختصاص داشت. اجرای عملیات زراعی در مزارع چندساله زعفران، فشرده آزمایشی و رایج ذرت کاهش به‌ترتیب برابر با ۲۵، ۵۰ و ۵۹ درصدی محتوی نیتروژن خاک را در مقایسه با باغ‌های چندساله به دنبال داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که افزایش مصرف نهاده‌های آلی در اکوسیستم-های باغی و چندساله زعفران از طریق آزادسازی تدریجی عناصر غذایی باعث و کاهش تلفات عناصر باعث بهبود نیتروژن کل در مقایسه با اکوسیستم‌های پرنهاده و رایج کشاورزان شده است. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) میانگین نیتروژن کل مزارع زعفران را ۰/۰۱۷ درصد اعلام نمودند. نتایج مطالعه چن و همکاران (Chen et al., 2009) موید افزایش ۷/۹ درصدی نیتروژن خاک در شرایط به‌کارگیری خاک‌ورزی حفاظتی در مزارع کم‌نهاده در مقایسه با خاک‌ورزی رایج بود. نتایج مطالعه درینکواتر و همکاران (Drinkwater et al., 1995) نشان داد که میزان نیتروژن و پتانسیل معدنی شدن آن در مزارع کم‌نهاده به مراتب بالاتر از مزارع رایج بود. بدین ترتیب، با توجه به اینکه بخش زیادی از نیتروژن شیمیایی اضافه شده به خاک (با فرم غالب نیترات) آب‌شویی می‌شود (Addiscott, 2005)، بهتر است برای افزایش کارایی مصرف کودهای نیتروژن‌دار، کاهش هزینه‌های تولید و تخفیف آلودگی‌های زیست‌محیطی در اکوسیستم‌های زراعی از انواع کودهای آلی استفاده شود. در همین راستا، تعدادی از محققان (Follett et al., 1995; Campbell et al., 1996; Lal et al., 1997; Campbell et al., 2000) نیز بر مزایای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ناشی از مصرف انواع کودهای آلی در خاک تأکید کرده‌اند.

اثر نوع مدیریت خاک بر محتوی فسفر و پتاسیم قابل دسترس: اثر نوع مدیریت اکوسیستم بر محتوی فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۲). بالاترین محتوی فسفر قابل دسترس خاک در مزارع چندساله (۶۶/۹۸ میلی گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد و کمترین میزان به مزارع رایج یک‌ساله گندم (۲۰/۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم) اختصاص داشت. اعمال مدیریت در باغات چندساله، مزارع رایج آزمایشی و مزارع رایج یک‌ساله ذرت موجب کاهش به‌ترتیب ۱۴، ۴۹ و ۶۴ درصدی محتوی فسفر خاک در مقایسه با مزارع چندساله گردید (جدول ۳). بیشترین و کمترین میزان پتاسیم قابل دسترس خاک برای باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله گندم به‌ترتیب با ۷۴۹/۱۰ و ۱۵۹/۹۸ میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. به‌کارگیری مدیریت در مزارع چندساله زعفران، رایج آزمایشی و رایج یک‌ساله ذرت کاهش به‌ترتیب ۱۴، ۷۱ و ۷۵ درصدی محتوی پتاسیم قابل دسترس خاک را در مقایسه با باغ‌های چندساله به دنبال داشت (جدول ۲). زیر و رو کردن فشرده با تثبیت فسفر و پتاسیم (به‌ویژه فسفر) در خاک، کاهش مقدار آن‌ها را در اکوسیستم‌های رایج در مقایسه با باغ‌ها و مزارع چندساله زعفران به دنبال داشته است. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) میانگین فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک مزارع زعفران را به‌ترتیب ۳۱/۱۴ و ۳۴۰/۴۸ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند. آن‌ها دلیل این امر را به مصرف نهاده‌های آلی به‌ویژه کود دامی نسبت دادند. بررسی‌ها (Khajeh Pour, 2004) نشان داده است که در طولانی‌مدت، خاک‌ورزی رایج سبب کاهش محتوی فسفر و پتاسیم خاک شده و با زیر و رو کردن مداوم خاک و تسریع در اکسیداسیون ماده آلی، می‌تواند به‌دلیل افزایش نیاز به عناصر غذایی، علاوه‌بر افزایش هزینه‌های تولید، آلودگی‌های زیست محیطی را نیز افزایش دهد. باید توجه داشت که شرایط آب و هوایی به‌ویژه دما و عوامل محیطی نظیر میزان رطوبت خاک نیز می‌تواند پویایی و سرعت بازچرخش و تجزیه ماده آلی را تحت تأثیر قرار دهد. با این‌وجود، نتایج برخی مطالعات (Birch, 1985) نشان داده است که تجزیه آهسته، تدریجی و البته مداوم هوموس می‌تواند در فراهمی

نیتروژن مورد نیاز گیاهان در درازمدت مؤثر باشد. علاوه‌براین، با توجه به این مطلب که محتوی ذخیره رطوبتی خاک در شرایط بهره‌گیری از خاک‌ورزی کاهش یافته و حفاظتی به مراتب بالاتر از خاک‌ورزی رایج می‌باشد (Alvarez & Steinbach, 2009) و با در نظر گرفتن این مطلب که بخش زیادی از مناطق کشور دارای شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک هستند که آب عامل محدودکننده‌ای در این شرایط محسوب می‌شود، لذا می‌توان با بهره‌گیری از این خاک‌ورزی علاوه‌بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، موجب افزایش ذخیره و محتوی رطوبتی خاک، ثبات تولید نیز در بوم‌نظام‌های کشاورزی گردید.

اثر نوع مدیریت خاک بر وزن مخصوص ظاهری: نوع مدیریت اکوسیستم وزن مخصوص ظاهری خاک را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۲). بالاترین وزن مخصوص ظاهری خاک به مزارع رایج یک‌ساله ذرت با ۱/۷۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب اختصاص داشت و کمترین میزان برای باغ‌های چندساله با ۱/۱۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد. اجرای مدیریت در مزارع چندساله زعفران، رایج یک‌ساله گندم و رایج آزمایشی موجب افزایش به‌ترتیب ۱۷، ۴۴ و ۵۱ درصدی وزن مخصوص ظاهری در مقایسه با باغ‌های چندساله گردید (جدول ۳). بررسی‌ها نشان داده است که مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی باعث تغییر تعداد، شکل، پیوستگی و توزیع اندازه شبکه منافذ خاک می‌شوند که نفوذپذیری آب، محتوی ذخیره رطوبتی و همچنین هوادهی خاک را کنترل می‌کنند (Kahlon et al., 2013). بنابراین، از آنجا که رابطه وزن مخصوص ظاهری خاک با حجم خلل و فرج معکوس است (Mohammadi et al., 2009)، مشخص است که اجرای خاک‌ورزی فشرده‌تر با زیر و رو کردن و بر هم زدن خاک و مصرف نهاده‌های آلی کمتر در اکوسیستم‌های فشرده و رایج موجب ایجاد تخلخل و بهبود وزن مخصوص ظاهری خاک در مقایسه با خاک‌ورزی‌های کم‌نهاده و چندساله شده است. به‌کارگیری خاک‌ورزی فشرده به‌دلیل افزایش تراکم ناشی از تردد ماشین‌آلات می‌تواند علاوه‌بر تخریب خاکدانه‌ها، موجب ایجاد لایه سخت در درازمدت در لایه‌های زیرین خاک شود که این امر نیاز به ماشین‌آلات را برای بر هم زدن لایه‌های عمقی خاک به‌منظور برگرداندن عناصر غذایی به لایه‌های سطحی و همچنین افزایش تخلخل خاک افزایش می‌دهد. گزارشات مختلف نشان داده است که جرم مخصوص ظاهری خاک در مزارع چندساله و باغ‌های مبتنی بر خاک‌ورزی حداقل و کاهش یافته در مقایسه با خاک‌ورزی رایج اکوسیستم‌های یک‌ساله به مراتب کمتر می‌باشد (Kahlon et al., 2013; Shirani et al., 2002; Shaver et al., 2002). لال (LAl, 1976) گزارش کرد که جرم مخصوص ظاهری پایین‌تر در خاک‌های بدون خاک‌ورزی عمدتاً مربوط به فعالیت‌های بیولوژیکی بالاتر است. هالورسونت و همکاران (Halvorson et al., 1999) گزارش کردند که مصرف کود دامی علاوه‌بر کاهش جرم مخصوص ظاهری، موجب هوادهی بهتر و بهبود ویژگی‌های ساختاری خاک می‌شود.

اثر نوع مدیریت خاک بر هدایت الکتریکی: اثر نوع مدیریت اکوسیستم بر هدایت الکتریکی خاک معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۲). بیشترین هدایت الکتریکی برای مزارع چندساله زعفران (۲/۲۳ دسی‌زیمنس بر متر) به‌دست آمد و کمترین میزان برای مزارع رایج آزمایشی و فشرده یک‌ساله ذرت (۰/۷۴ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد. اعمال مدیریت در باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله گندم به‌ترتیب موجب کاهش ۱۹ و ۶۶ درصد میزان هدایت الکتریکی خاک در مقایسه با مزارع چندساله گردید (جدول ۳). به نظر می‌رسد که عامل اصلی تغییرات هدایت الکتریکی در اکوسیستم‌های فشرده مربوط به مدیریت پرنهاده به‌ویژه مصرف کودهای شیمیایی می‌باشد. در همین راستا، افزایش جزئی pH و کاهش هدایت الکتریکی خاک در اکوسیستم‌های چندساله دارای خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاکورزی نیز توسط مرابت (Mrabet, 2001) به تأیید رسیده است که این امر افزایش فراهمی عناصر غذایی و در نتیجه، بهبود دسترسی به آن‌ها را برای گیاهان به دنبال دارد. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) میانگین هدایت الکتریکی و pH خاک مزارع زعفران را به‌ترتیب ۱/۵۳ دسی‌زیمنس بر متر و ۷/۵۵ بیان نمودند.

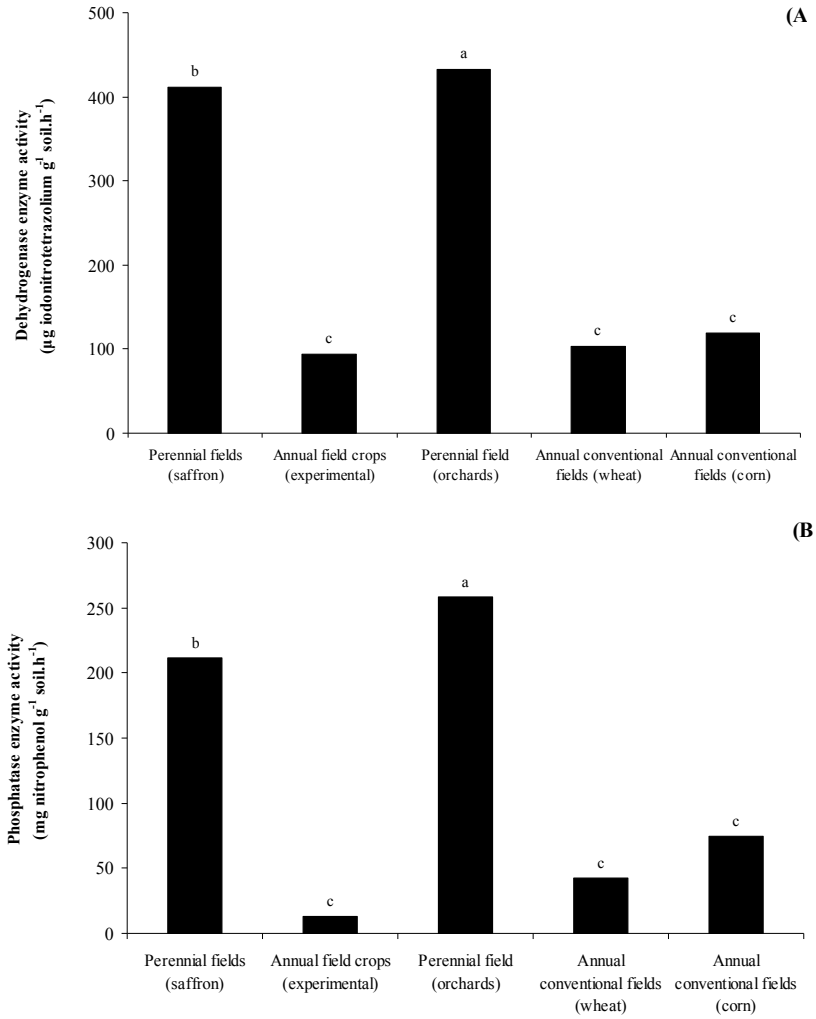
اثر نوع مدیریت خاک بر کربن زیست توده میکروبی: اثر نوع مدیریت اکوسیستم بر کربن زیست‌توده میکروبی خاک معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۲). بیشترین میزان کربن زیست‌توده میکروبی خاک برای باغ‌های چندساله (۳۵۳/۳۱ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک) به‌دست آمد و کمترین میزان به مزارع یک‌ساله آزمایشی (۹۰/۲۶ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک) اختصاص داشت. به‌کارگیری مدیریت چندساله در مزارع زعفران، مزارع رایج یک‌ساله ذرت و گندم به‌ترتیب موجب کاهش ۸، ۴۹ و ۶۷ درصدی کربن

زیست‌توده میکروبی خاک در مقایسه با باغ‌های چندساله شد (جدول ۳). بالا بودن شدت خاک‌ورزی و کاهش مصرف نهاده‌های آلی در سیستم‌های رایج در مقایسه با مزارع چندساله و باغ‌های کم‌نهاده، کاهش کربن زیست توده میکروبی خاک را به دنبال داشته است. یکی از شاخص‌های بیولوژیکی خاک میزان زیست‌توده میکروبی بوده که افزون بر کیفیت ماده آلی نشان‌دهنده فراوانی و توانایی دسترسی ریزموجودات خاکزی به ماده اولیه می‌باشد (Moscateli et al., 2007). هر چه محتوی کربن آلی خاک بالاتر باشد، این شاخص نیز افزایش می‌یابد (Moscateli et al., 2007)، زیست‌توده میکروبی خاک که ۵-۱٪ از کل کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهد می‌تواند به‌عنوان شاخصی از وضعیت کیفیت خاک در نظر گرفته شود (Liu et al., 2010). ویتر و کانال (Witter & Kanal, 1998) از جمله عوامل مؤثر بر این شاخص زیستی را اقلیم، تناوب زراعی به‌ویژه با گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن، خاک‌ورزی، pH، بافت و کمیت و کیفیت ماده آلی اضافه شده به خاک معرفی نمودند. از این‌رو، افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک می‌تواند نقش مهمی را در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ایفا کند (Marschner et al., 2003). بنابراین، به نظر می‌رسد که خصوصیات خاک به‌ویژه از نظر محتوی کربن آلی و مقادیر عناصر غذایی، از طریق تحریک فعالیت جوامع میکروبی، میزان زیست‌توده میکروبی را تحت تأثیر قرار داده است. زارع و همکاران (Zarea et al., 2008) ترشحات کربن از ریشه گیاه به خاک را تحت تأثیر بالا بودن محتوی ماده آلی، عامل اصلی افزایش زیست‌توده میکروبی معرفی نمودند. آندرسون (Anderson, 2003) اظهار داشت که افزایش زیست‌توده میکروبی خاک نشان می‌دهد که کربن در خاک بر اثر افزودن ماده آلی و کاهش خاک‌ورزی صرف رشد جوامع میکروبی خاک شده است. نمازی و همکاران (Namazi et al., 2012) اظهار داشتند چنانچه نیتروژن (به‌ویژه به فرم نیترات) به‌عنوان عنصر غذایی ضروری در خاک وجود داشته باشد، زیست‌توده میکروبی جوامع خاکزی افزایش می‌یابد. دیگر بررسی‌ها نیز مؤید آن مطلب است که مصرف ماده آلی نیاز ریزموجودات خاکزی را به نیتروژن و حتی فسفر برای ساخت اجزای سلولی افزایش می‌دهد (Mahmood et al., 1997; Graham et al., 2002). نتایج برخی مطالعات (Gu et al., 2009; Liu et al., 2010; Marschner et al., 2003; Hao et al., 2008) بررسی‌ها نشان داده است که جمعیت میکروبی خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار کود دامی در مقایسه با کود شیمیایی افزایش یافت.

همچنین به نظر می‌رسد که افزوده شدن کود شیمیایی نیتروژن‌دار و استفاده از عملیات خاک‌ورزی فشرده در اکوسیستم‌های پرنهاده و یک‌ساله در مقایسه با سیستم‌های چندساله و کم‌نهاده به‌دلیل تغییر نسبت کربن به نیتروژن و کاهش محتوی ماده آلی خاک (Bremer et al., 1998; Egli, 1991)، باعث کاهش میزان فعالیت آن‌ها شده و در نتیجه، کربن زیست توده میکروبی را کاهش داده است. علاوه‌براین، با افزایش محتوی نیترات احتمالاً افزایش معدنی شدن نیتروژن رخ داده که در نتیجه، باعث کاهش جمعیّت میکروبی خاک شده است (Tisdale & Nelson, 1993). هی و همکاران (He et al., 1997) گزارش نمودند که کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن نظیر سولفات آمونیوم موجب کاهش زیست‌توده میکروبی خاک گردید. هاتچینز و همکاران (Hutchins et al., 1991) نیز بر اثر بازدارندگی کودهای شیمیایی نیتراته بر جلوگیری از فعالیت ریزموجودات خاکزی و توان ترسیب کربن تأکید نمودند. رز و همکاران (Ros et al., 2003) اظهار داشتند که زیست‌توده میکروبی خاک غنی شده با کمپوست به‌طور معنی‌داری بالاتر از شاهد بود. آن‌ها دلیل این امر را به تحریک فعالیت‌های میکروبیولوژیکی خاک و افزایش تعداد ریزجانداران و فعالیت میکروبی خاک نسبت دادند. بدین ترتیب، با توجه به این موضوع که فعالیت‌های میکروبی از نظر چرخه عناصر غذایی در خاک‌ها، تأثیر بر سایر خصوصیات خاک و انتقال مواد و انرژی در بین اجزای مختلف اکوسیستم‌ها ضروری می‌باشند (Namazi et al., 2012) و در نظر گرفتن این مطلب که زیست‌توده میکروبی شاخص مناسبی جهت بررسی اثر مدیریت اکوسیستم‌ها بر سلامت خاک می‌باشد (Balota et al., 2003)، توصیه می‌شود از راهکارهای مختلف مدیریتی نظیر جایگزینی مصرف نهاده‌های آلی با کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن و خاک‌ورزی‌های کاهش یافته جهت بهبود زیست‌توده میکروبی خاک بهره‌گیری گردد. نتایج مطالعات هریسون (Harrison, 1987) نیز نشان داد که فراهمی عناصر غذایی فسفر و نیتروژن از شکل آلی به معدنی، جذب آن‌ها را برای گیاهان و ریزجانداران فراهم می‌نماید و علاوه‌بر افزایش دسترسی عناصر غذایی در خاک، تشدید فعالیت‌های جوامع خاکزی را نیز موجب می‌گردد.

اثر نوع مدیریت خاک بر فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و فسفاتاز: میزان فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و فسفاتاز خاک

به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع مدیریت اکوسیستم قرار گرفت (p≤۰/۰۱) (جدول ۲). بالاترین و پایین‌ترین میزان فعالیت آنزیم دهیدروژناز به‌ترتیب برای باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله به‌ترتیب با ۴۲۳/۴۷ و ۹۳/۹۴ کیلوگرم یدونیترو تترازولیوم در گرم خاک در ساعت حاصل شد. اجرای مدیریت در مزارع چندساله، مزارع رایج یک‌ساله گندم، مزارع رایج یک‌ساله ذرت و مزارع رایج یک‌ساله کاهش به‌ترتیب ۵، ۷۲، ۷۶ و ۷۸ درصدی فعالیت آنزیم دهیدروژناز را در مقایسه با باغ‌های چندساله موجب گردید (شکل ۲- الف). بیشترین فعالیت آنزیم فسفاتاز برای باغ‌های چندساله با ۲۵۸/۴۸ میلی‌گرم نیتروفنول در گرم خاک در ساعت حاصل گردید و کمترین میزان به مزارع رایج یک‌ساله با ۱۲/۸۰ میلی‌گرم نیتروفنول در گرم خاک در ساعت اختصاص داشت. به‌کارگیری عملیات مدیریتی در مزارع چندساله، مزارع رایج یک‌ساله گندم و مزارع رایج یک‌ساله ذرت کاهش به‌ترتیب ۱۸، ۷۱ و ۸۴ درصدی فعالیت آنزیم فسفاتاز را در مقایسه با باغ‌های چندساله به دنبال داشت (شکل ۲- ب).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر مدیریت‌های مختلف اکوسیستم بر فعالیت آنزیم‌های (الف) دهیدروژناز و (ب) فسفاتاز خاک

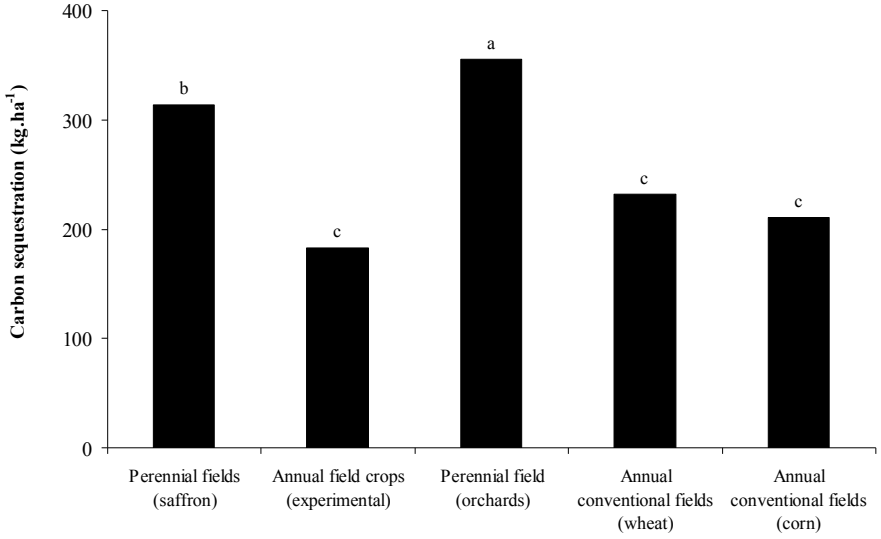
Fig. 2- Mean comparison for the effect of different management systems on (A) dehydrogenase and (B) phosphatase enzyme activities of soil

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر شکل، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan's multiple range test at 5% probability level.

میزان بالاتر فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و دهیدروژناز در باغ‌ها و مزارع زعفران چندساله نسبت به اکوسیستم‌های زراعی یک‌ساله مربوط به برهم زدن، دستکاری و به تبع آن تخریب کمتر خاک تحت تأثیر خاک‌ورزی کاهش یافته و کاربرد ماده‌آلی بالاتر می‌باشد (Rashidi et al., 2011). رشیدی و همکاران (Rashidi et al., 2011) فعالیت آنزیم دهیدروژناز در شرایط اجرای خاک‌ورزی کاهش یافته با گاوآهن پنجه‌غازی (به‌ترتیب ۴۱۶/۲ بر اساس میکروگرم یدو نیترو تترازولیوم در گرم خاک در ساعت و ۲۷۳ میلی‌گرم نیتروفنول در گرم خاک در ساعت) و خاک‌ورزی متداول با گاوآهن برگردان‌دار (به‌ترتیب ۳۱۴/۷ بر اساس میکروگرم یدو نیترو تترازولیوم در گرم خاک در ساعت و ۲۴۶/۵ میلی‌گرم نیتروفنول در گرم خاک در ساعت) گزارش نمودند. تغییرات نسبتاً یکسان این دو آنزیم در واکنش به نوع مدیریت خاک در اکوسیستم‌های کشاورزی، نشان‌دهنده مشابه بودن عوامل کنترل‌کننده آن‌ها می‌باشد. بدین ترتیب، از آنجا که این آنزیم-ها مسئول انجام فرآیندهای هیدرولیز بخشی از ترکیبات آلی مورد نیاز رشد گیاهان هستند، افزایش هر یک از آن‌ها حاکی از آن است که جمعیت میکروبی خاک با دریافت کود آلی از سطح فعالیت بالاتری برخوردار شده که امکان سنتز مقادیر بیشتر آنزیم‌های فوق را فراهم نموده است (Hojati et al., 2006). حضور ترکیبات آلی بیشتر در خاک از طریق افزایش ترکیبات استری فسفات منجر به القای تولید آنزیم فسفاتاز می‌شود (Tabatabai, 2003). احمدپور و همکاران (Ahmadpoor et al., 2011) گزارش نمودند که بین فعالیت آنزیمی و محتوی ماده آلی خاک ارتباط خطی و مثبت وجود دارد؛ به‌طوری‌که با افزایش مقدار ماده آلی، جمعیت میکروبی خاک و سنتز آنزیم‌ها افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، بررسی‌ها نشان داده است که افزودن کودهای شیمیایی به‌ویژه فسفر، فعالیت آنزیم فسفاتاز را کاهش می-دهد (Raiesi & Ghollarata, 2006). نتایج مطالعه ساها و همکاران (Saha et al., 2008) روی اثر سه نوع کود آلی دامی، کمپوست و ورمی‌کمپوست بر فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی نشان داد که بیشترین فعالیت، مربوط به ورمی‌کمپوست بود. لیانگ و همکاران (Liang et al., 2003) افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز را در شرایط افزودن کاه برنج، فضولات خوک، کاه برنج + فضولات خوک به‌ترتیب برابر با ۲۱۹، ۲۸۱ و ۲۴۹ درصد گزارش نمودند. لیانگ و همکاران (Liang et al., 2003) نیز تأکید کردند که کاربرد نهاده‌های آلی همچون ورمی‌کمپوست موجب تشدید فعالیت آنزیم فسفاتاز گردید. نتایج مطالعه نوربخش و همکاران (Noorbakhsh et al., 2001) نشان داد که اضافه کردن کربن آلی خاک از طریق پودر یونجه موجب افزایش فعالیت آنزیم اوره‌آز گردید. از طرف دیگر، میزان فعالیت این آنزیم در خاک‌های شنی و عاری از مواد آلی بسیار پایین بود. فرقانی (Forgani, 2003) نشان داد که فعالیت آنزیم اوره‌آز و فسفاتاز به‌دلیل وجود منابع کربن قابل تجزیه و محتوی فسفر و نیتروژن قابل دسترس تحت تأثیر مصرف کود آلی افزایش یافت. رشیدی و همکاران (Rashidi et al., 2011) نتیجه گرفتند که فعالیت آنزیم دهیدروژناز در شرایط مصرف کود شیمیایی در مقایسه با کودهای آلی کاهش یافت.

اثر نوع مدیریت خاک بر ترسیب کربن: مدیریت اکوسیستم، کربن ترسیب شده خاک را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۲). افزایش مصرف کودهای آلی همراه با اعمال خاک‌ورزی‌های کاهش یافته در اکوسیستم‌های چندساله زراعی و باغی از طریق افزایش محتوی کربن آلی (شکل ۱)، ترسیب کربن خاک را افزایش داد. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان کربن ترسیب شده خاک به‌ترتیب برای باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله به‌ترتیب با ۳۵۵/۳۱ و ۱۸۲/۴۸ کیلوگرم کربن در هکتار شد. بنابراین، با توجه به اینکه بالاترین محتوی کربن آلی (شکل ۱) مربوط به باغ‌های چندساله بود، لذا بیشترین کربن ترسیب شده نیز به این اکوسیستم اختصاص داشت. اجرای عملیات مدیریتی در مزارع چندساله، مزارع یک‌ساله ذرت و مزارع یک‌ساله گندم به‌ترتیب موجب کاهش ۱۲، ۳۵ و ۴۱ درصدی کربن ترسیب شده خاک در مقایسه با میزان این صفت در باغ‌های چندساله شد (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر مدیریت‌های مختلف اکوسیستم بر ترسیب کربن خاک

Fig. 3- Mean comparison for the effect of different management systems on carbon sequestration in soil

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر شکل، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan's multiple range test at 5% probability level.

ترسیب کربن توسط گیاهان ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین راهکار جهت تخفیف غلظت دی‌اکسید کربن محسوب می‌شود (Forouzeh et al., 2008). بررسی‌ها نشان داده است که رابطه مستقیمی بین کربن ترسیب شده و مدیریت اکوسیستم‌های زراعی وجود دارد (Post & Kwon, 2000). از آنجا که خاک‌دانه‌های درشت (>۰/۲۵ میلی-متر) از نظر محتوی کربن غنی‌تر از خاک‌دانه‌های میکرو (<۰/۲۵ میلی‌متر) هستند (Six et al., 2000)، لذا سیستم بدون خاک‌ورزی، از طریق افزایش خاک‌دانه‌های ماکرو غنی از کربن و کاهش خاک‌دانه-های میکرو موجب بهبود ترسیب کربن می‌شود (Six et al., 2000). خرم دل و همکاران (Khorramdel et al., 2013) گزارش نمودند که میزان کربن ترسیب شده در خاک به طور معنی‌داری تحت تاثیر نوع مدیریت نظام زراعی قرار گرفت؛ به طوری‌که افزایش مصرف کودهای آلی همراه با عدم خاکورزی در نظام‌های کم‌نهاده از طریق افزایش کربن آلی، ماده آلی، کربن پایدار و بهبود نسبت کربن پایدار به ناپایدار، افزایش کربن ترسیب شده را موجب گردید. دورودنیکو و همکاران (Dorodnikov et al., 2009) به اهمیت خاک‌دانه‌های درشت در ترسیب کربن تأکید کردند. آسموس (Asmus, 2009) سیستم بدون خاک‌ورزی را راهکاری اقتصادی و پایدار در جهت بهبود پتانسیل ترسیب کربن معرفی نمود. ترسیب کربن به خصوصیات رشد گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریت، روش احیاء و شرایط محیطی، تغییر کاربری اراضی، شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیره کربن خاک بستگی دارد (Derner & Schuman, 2007; Post & Kwon, 2000). تحقیقات مؤید آن مطلب است که کاشت گونه‌های چندساله در راستای به‌کارگیری سیستم بدون خاکورزی یکی از راهکارهای مهم مدیریتی جهت افزایش توان بالقوه ترسیب کربن خاک می‌باشد (Zan et al., 2001; Su, 2007; Bremer, 2009). نتایج مطالعات سو (Su, 2007) مؤید بهبود معنی‌دار محتوی کربن ترسیب شده و نیتروژن کل اکوسیستم‌های چندساله در مقایسه با مزارع یک‌ساله بود. آلبرتی و همکاران (Alberti et al., 2010) نیز خاطر نشان ساختند که تبدیل مزارع یک‌ساله ذرت به اکوسیستم‌های چندساله از طریق جلوگیری از تلفات کربن، موجب بهبود توان بالقوه ترسیب کربن گردید. این محققان همچنین تأکید کردند که توان بالقوه ترسیب کربن در اکوسیستم‌های زراعی علاوه‌بر آب و هوا وابسته به نوع خاک، نوع گیاه و عملیات مدیریتی به‌ویژه شدت

عملیات خاک‌ورزی می‌باشد.

همچنین با توجه به این موضوع که فشرده شدن خاک در اثر تردد ماشین‌آلات علاوه‌بر کاهش خصوصیات کیفی خاک (Lal, 1993; Khan et al., 1993; Khurshid et al., 2006) موجب بروز اثرات نامطلوب بر رشد گیاهان زراعی می‌گردد (Miransari & Smith, 2009) و از آنجا که بکارگیری خاک‌ورزی کاهش یافته به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند علاوه‌بر حفظ ذخیره رطوبتی (Van Wie et al., 2013; Alvarez & Steinbach, 2009; Jin et al., 2007) و بهبود خصوصیات خاک (Follett et al., 2005; Lal et al., 1997; Drinkwater et al., 1995; Alvarez & Steinbach, 2009)، افزایش عملکرد (Ozpinar & Baytekin, 2006; De Vita et al., 2007) و بهبود پتانسیل ترسیب کربن (Asmus, 2009; Alberti et al., 2010; Zan et al., 2001; Su, 2007; Bremer, 2009) را به دنبال داشته باشد، به‌کارگیری این رهیافت به‌عنوان راهکاری پایدار در مناطق مختلف کشور توصیه می‌شود.

ب) برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی

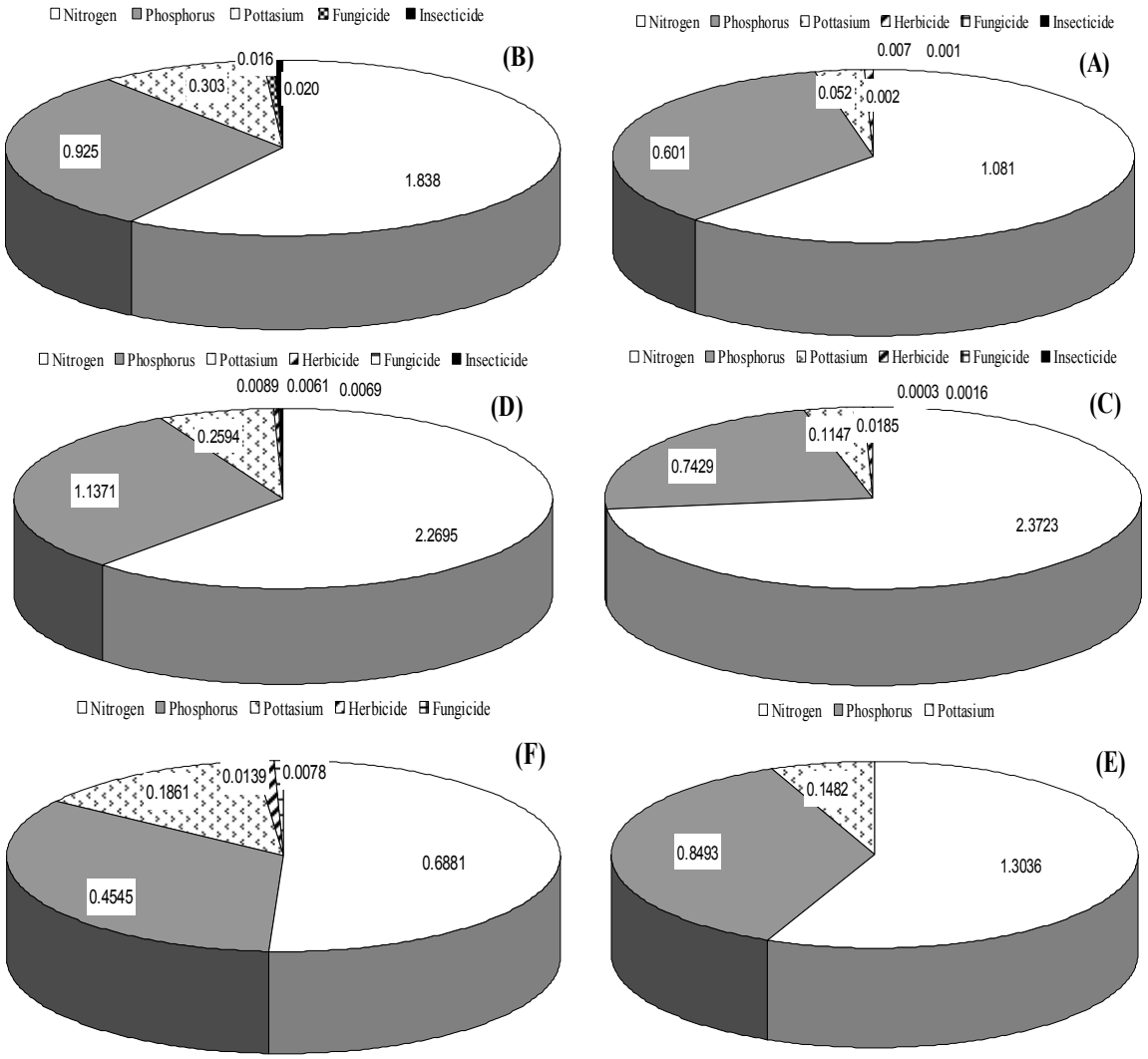
بررسی مجموع انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای شامل CO_2، N_2O و CH_4 مشخص نمود که بیشترین مجموع انتشار این گازها در تولید گندم، گوجه‌فرنگی، ذرت، سیب‌زمینی، چغندرقند و کلزا برای مصرف کودهای نیتروژن به‌ترتیب با ۱/۰۸، ۱/۸۴، ۲/۳۷، ۲/۲۷، ۱/۳۰ و ۰/۶۹ تن به‌ازای هکتار محاسبه گردید. کمترین مجموع انتشار این گازها در تولید این محصولات در مقایسه بین کودهای پرمصرف برای پتاسیم به‌ترتیب برابر با ۰/۰۵، ۰/۳۰، ۰/۱۱، ۰/۲۶، ۰/۱۵ و ۰/۱۹ تن به‌ازای هکتار به‌دست آمد. در بین انواع سموم شیمیایی مورد استفاده در تولید محصولات مختلف، بالاترین مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای برای گندم، ذرت، سیب‌زمینی و کلزا مربوط به علف‌کش (به‌ترتیب با ۰/۰۰۷، ۰/۱۸۵، ۰/۰۰۸۹ و ۰/۰۱۳۹ تن به‌ازای هکتار) بود و برای گوجه‌فرنگی و چغندرقند به حشره‌کش (به‌ترتیب با ۰/۰۲۰۴ و ۰/۰۰۸۴ تن به‌ازای هکتار) اختصاص داشت (شکل ۴).

بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی برای سیب‌زمینی با ۳/۶۹ تن معادل CO_2 به‌ازای هر هکتار محاسبه شد که نسبت به گندم، چغندرقند، گوجه‌فرنگی و ذرت به‌ترتیب ۵۳، ۳۷، ۱۶ و ۱۲ درصد بالاتر بود. کمترین پتانسیل گرمایش جهانی برای کلزا با ۱/۳۵ تن معادل CO_2 به‌ازای هر هکتار به‌دست آمد (شکل ۵). از آنجا که بالاترین مصرف کود نیتروژن در بین گیاهان مورد مطالعه برای سیب‌زمینی محاسبه شد (شکل ۴)، لذا در نهایت، بالاترین پتانسیل گرمایش جهانی نیز برای این این گیاه به‌دست آمد.

با مقایسه میزان انتشار کلیه گازهای گلخانه‌ای تحت مدیریت زراعی مشخص گردید که میزان انتشار این گاز در شرایط استفاده از کود نیتروژن بالاتر از دیگر نهاده‌های شیمیایی بود که این امر مربوط به ضریب انتشار بالاتر نیتروژن (۱/۳ کیلوگرم CO_2 به‌ازای مصرف هر کیلوگرم کود نیتروژن) نسبت به کودهای فسفره و پتاسیم و آفت‌کش‌ها می‌باشد. همچنین برای تولید این نهاده شیمیایی مستقیماً از سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منبع انرژی استفاده می‌شود. مصرف کود اوره برای تامین عنصر اصلی مورد نیاز از طریق تحریک رشد گیاه موجب تنفس بیشتر ریشه و ریزموجودات خاکزی شده که از این طریق نیز افزایش انتشار گاز دی اکسید کربن را باعث می‌گردد (Guillou et al., 20011). علاوه‌براین، تأثیر نیتروژن در تولید N_2O نیز ثابت شده است (Dalal et al., 2003). اشنایدر و همکاران (Snyder et al., 2009) اظهار داشتند که تولید کود اوره در کارخانه یکی از اصلی‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌وسیله این نهاده شیمیایی می‌باشد. رجبی و همکاران (Rajabi et al., 2012) اظهار داشتند که کود شیمیایی نیتروژن یکی از مهم‌ترین نهاده‌های دخیل در انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی می‌باشد. نتایج اشنایدر و همکاران (Snyder et al., 2009) روی انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مدیریت منابع کودی مختلف در اکوسیستم‌های تولید گیاهان زراعی نشان داد که کاربرد کود شیمیایی نیتروژن منبع اصلی تولید گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص دی اکسید کربن و اکسید نیتروژن می‌باشد؛ به‌طوری‌که در بین منابع شیمیایی نیتروژن، کود اوره بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را باعث گردید. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل CO_2، CH_4 و N_2O ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی را به‌ترتیب ۶۳۲۰۶۰۵۲، ۴۰۰۵ و ۴۱۹ کیلوگرم به‌ازای یک لیتر گازوئیل گزارش نمودند. کارل و همکاران (Kahrl et al., 2010) نیز با بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف کود نیتروژن در چین گزارش نمودند که با افزایش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش یافت. یوسفی و همکاران (Yousefi

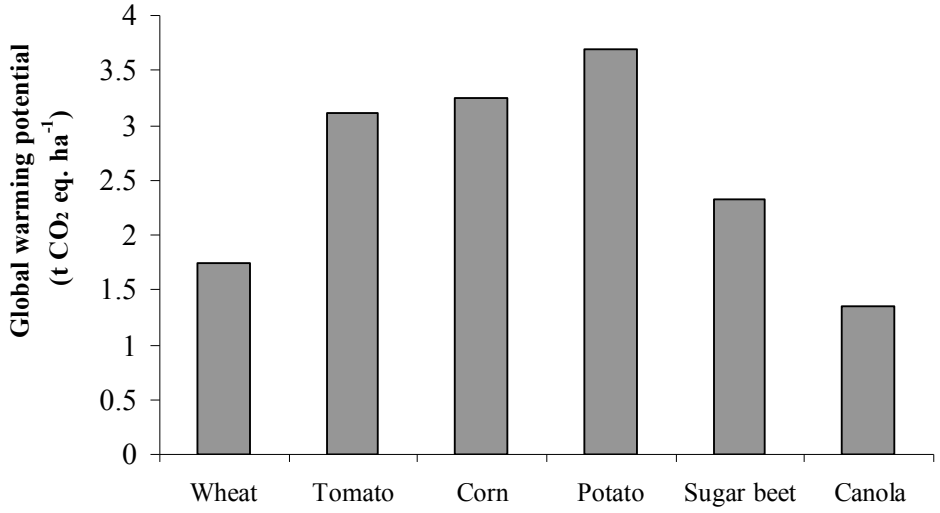
et al., 2014 a) با بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندرقند گزارش نمودند که نقش کودهای نیتروژن در انتشار گازهای گلخانه‌ای سه برابر بیشتر از فسفر بود.

همان‌طور که از نتایج این مطالعه نیز برمی‌آید، مصرف نیتروژن نقش مهمی در افزایش پتانسیل گرمایش جهانی دارد؛ به‌طوری‌که افزایش مصرف این عنصر موجب تشدید پتانسیل گرمایش جهانی گردید. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2014) بیان نمودند که کشت و کار غلات به‌دلیل استفاده زیاد از سوخت‌های فسیلی و نهاده‌های شیمیایی یکی از مهم‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل تشدید گرمایش جهانی محسوب می‌شود.



شکل ٤- مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای (تن CO_2 به‌ازای هکتار) برای محصولات مختلف زراعی: (الف) گندم، (ب) گوجه‌فرنگی، (ج) ذرت، (د) سیب‌زمینی، (ه) چغندرقند و (و) کلزا

Fig. 4- Total emission of greenhouse gases (t CO_2 per ha) for different crops: (a) wheat, (b) tomato, (c) corn, (d) potato, (e) sugar beet and (f) canola



شکل ۵- پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف نهاده‌های شیمیایی برای محصولات مختلف زراعی
Fig. 5- Global warming potential caused by chemical inputs for different crops

داتا و همکاران (Datta et al., 2013) نیز با بررسی تأثیر کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر انتشار گاز گلخانه‌ای متان در هند، اظهار داشتند که با افزایش این نهاده‌ها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. خوش‌نویسان و همکاران (Khoshnevisan et al., 2013) نیز تأیید نمودند که در زراعت گندم، نقش کودهای شیمیایی نیتروژن در پتانسیل گرمایش جهانی بسیار بیشتر از فسفر و پتاسیم بوده و استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی سهم ناچیزی را شامل می‌شوند. یوسفی و همکاران (Yousefiet al., 2014 a) میزان پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف نیتروژن و فسفر در تولید چغندرقند به‌ترتیب ۱۴۴۶ و ۴۵۶ کیلوگرم در هکتار گزارش نمودند. کوچکی و نصیری محلاتی (Koocheki & Nassiri Mahallati, 2015) با ارزیابی چرخه حیات در اکوسیستم‌های تولید گندم ایران گزارش نمودند که با افزایش مصرف نهاده‌ها پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و در اکوسیستم‌های پرنهاده تولید گندم به kg CO_2eq/ha ۲۹۱۱ رسید، در حالی‌که در اکوسیستم‌های کم‌نهاده در حدود kg CO_2eq/ha ۱۶۰۰ یعنی ۴۵ درصد کمتر از اکوسیستم پر نهاده بود. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2014) پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف کود شیمیایی نیتروژن را برای گندم، جو و ذرت به‌ترتیب 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 بود و جو کمترین میزان 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. یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2014 b) 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 بیشتر از فسفر و آن هم بیشتر از پتاسیم بود. همچنین، در هر سه نهاده مصرفی، CO_2 بیشترین و N_2O کمترین میزان انتشار را دارا بودند. از طرفی، ایشان 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.

علاوه‌بر افزایش هزینه‌های تولید تحت تأثیر مصرف زیاد نهاده‌های شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژن، بررسی‌ها نشان داده است که بیش از ۵۰ درصد نیتروژن مورد استفاده از طریق آب‌شویی و تصعید از دسترس گیاه خارج می‌شود (Verge et al., 2007)، دنیتریفیکاسیون نیز منبع اصلی انتشار N_2O از خاک می‌باشد (Dalal et al., 2003). ترشح مواد گیاهی از ریشه و تراوه‌های ریشه‌ای به‌عنوان منبع اصلی کربن برای ریزموجودات دخیل در دنیتریفیکاسیون محسوب شده که افزایش این مواد از طریق تشدید فعالیت این ریزموجودات باعث تشدید غلظت گاز دی اکسید کربن به اتمسفر می‌شود (Maraseni &

Cockfield, 2011). بدین‌ترتیب، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش مصرف انواع نهاده‌های آلی را می‌توان به‌عنوان راهکاری اکولوژیک در مدیریت پایدار اکوسیستم‌های زراعی مدنظر قرار داد که از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تخفیف[1] تغییر اقلیم را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد.

نتیجه‌گیری

خاک به عنوان پایه و اساس تولید در بوم‌نظام‌های کشاورزی، نقش مهمی در خدمات و کارکردها نظیر چرخه عناصر غذایی، تشکیل دانه‌بندی خاک، تنظیم شاخص واکنش، فرسایش، پاکسازی آب و غیره ایفا می‌نماید و از طرفی، تعیین‌کننده پتانسیل ترسیب کربن به عنوان یکی از خدمات مهم می‌باشد. از طرفی، این کارکردها و خدمات وابسته به نوع مدیریت اکوسیستم می‌باشد. نتایج این مطالعه روی مقایسه مدیریت سیستم‌های مختلف پرنهاده (یکساله) و کم‌نهاده (چندساله) بر خدمات و کارکردهای خاک در استان خراسان نشان داد که نوع مدیریت به طور معنی‌داری خصوصیات خاک و سطح خدمات را تحت تاثیر قرار داد، به طوری‌که مدیریت پرنهاده از طریق کاهش میزان کربن آلی، افت سایر خدمات و به ویژه کربن ترسیب شده را به دنبال داشت. افت خدمات و کارکردهای خاک در مزارع رایج و یکساله تحت تاثیر افزایش مصرف کودها و سموم شیمیایی و اجرای خاکورزی‌های فشرده می‌باشد که این امر علاوه بر تخریب خاک، تلفات تنوع زیستی، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تشدید تغییر اقلیم را به دنبال دارد.

مقایسه میزان انتشار گازهای مختلف گلخانه‌ای در تولید محصولات مهم زراعی نشان داد که بالاترین پتانسیل گرمایش جهانی به دلیل مصرف بالای کودهای شیمیایی مربوط به سیب‌زمینی بود.

بدین ترتیب، باتوجه به اهمیت خاک و حفظ و ارتقاء سطح خدمات و کارکردهای آن در بوم‌نظام‌های کشاورزی، پیشنهاد می‌شود مصرف نهاده‌های آلی و خاکورزی‌های کاهش یافته به عنوان راهکارهایی اکولوژیک و بوم‌سازگار در مدیریت پایدار اکوسیستم‌های کشاورزی مدنظر قرار گیرد که این امر از طریق بهبود خدمات و کارکردهای خاک نظیر محتوی کربن آلی و کربن ترسیب شده می‌تواند نقش موثری در تخفیف انتشار گازهای گلخانه‌اتی و تغییر اقلیم ایفا نماید.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۲/۲۹۳۴۷ مصوب ۱۳۹۲/۱۱/۲۱ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

Addiscott, T., 2005. Nitrate, Agriculture and the Environment. CABI, Science 279 pp.

Ahmadpoor, S.R., Bahmanyar, M.A., Gilani, S.S., and Forghani, A., 2011. Evaluation of the activities of urease and phosphatase enzymes and changes in some chemical characteristics of soil amended with compost and vermicompost under corn cultivation. Iranian Journal of Soil Research 25(2): 113-123. (In Persian with English Summary)

Alberti, G., Vedove, G.D., Zuliani, M., Peressotti, A., Castaldi, S., and Zerbi, G., 2010. Changes in CO_2 emissions after crop conversion from continuous maize to an Agriculture alfalfa. Agriculture, Ecosystems and Environment 136(1-2): 139-147.

Alvarez, R., and Steinbach, H.S., 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil and Tillage Research 104: 1–15.

Anderson, T.H., 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environments 98: 285-293.

Asmus, C.D., 2009. Soil aggregation and carbon sequestration. Fallowing a single tillage event in no-till soils in a semi-arid environment. A MSc. Thesis of Agronomy College of Agriculture, Kansas State University. 173 pp.

Bahadar, K.M., Arif, M., and Khan, M.A., 2007. Effect of tillage and Zinc application methods on weeds and yield of maize. Pakistan Journal of Botany 39: 1583-1591.

Balota, E.L., Colozzi-Filho, A., Andrade, D.S., and Dick, R.P., 2003. Microbial biomass in soils under different tillage

1- Mitigation

and crop rotation systems. Biology and Fertility of Soils 38: 15-20.

Bengtsson, J., Ahnström, J., and Weibull, A.C., 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: A meta-analysis. Journal of Applied Ecology 42(2): 261-269.

Bhardwaj, A.K., Jasrotia, P., Hamilton, S.K., and Robertson, G.P., 2011. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. Agriculture, Ecosystems and Environment 140: 419–429.

Black, C.A., 1965. Methods of Soil Analysis. (V. I). American Society of Agronomy 1572 pp.

Bowman, R.A., Vigil, M.F., Nielsen, D.C., and Anderson, R.L., 1999. Soil organic matter changes in intensively cropped dryland systems. Soil Science Society of America Journal 63: 186–191.

Brady, N.C., and Weil, R.R., 2002. The Nature and Properties of Soils, 13th ed. Prentice Hall. 960 pages.

Bremer, D.J., Ham, J.M., Owensby, C.E., and Knapp, A.K., 1998. Responses of soil respiration to clippling and grazing in a tallgrass prairie. Journal of Environmental Quality 27: 1539-1548.

Bremer, E., 2009. Potential for Reductions in Greenhouse Gas Emissions from Native Rangelands in Alberta (Technical Scoping Document). pp. 24.

Bremner, J.M., 1970. Nitrogen total, regular Kjeldahl method, In: Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd Ed. Agronomy 9(1). A. S. A. Inc., S. S. S. A. Inc., Madison Publisher, Wisconsin, USA, pp. 610-616.

Bushby, H.V.A., and Marshall, K.C., 1977. Some factors affecting the survival of root-nodule bacteria on desiccaticcation. Soil Biology and Biochemistry 9: 143-147.

Campbell, C.A., McConkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F., and Curtin, D., 1996. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science 76: 395-401.

Campbell, C.A., Zentner, R.P., Liang, B.C., Roloff, G., Gregorich, E.G., and Blomert, B., 2000. Organic C accumulation in soil over 30 years in semiarid south-western Saskatchewan-effect of crop rotation and fertilizers. Canadian Journal of Soil Science 80: 179-192.

Chen, H.Q., Marhan, S., Billen, N., and Stahr, K., 2009. Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by different land uses in Baden-Wurttemberg, southwest Germany. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 172: 32–42.

Clapp, C.E., Allmarasa, R.R., Layeseb, M.F., Lindena, D.R., and Dowdya, R.H., 2000. Soil organic carbon and ^{13}C abundance as related to tillage, crop residue, and nitrogen fertilization under continuous corn management in Minnesota. Soil and Tillage Research 5: 127-142.

Daily, G.C., Alexander, S., and Ehrlich, P.R., 1997. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems, Issues in Ecology A publication of the Ecological Society of America, Washington, DC. 2: 18–24.

Dalal, R.C., Wang, W., Robertson, P., and Parton, W.J., 2003. Nitrous oxide emission from Australian agriculture lands and mitigation options: A review. Australian Journal of Soil Research 41: 165–195.

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. Atmospheric Environment 66: 123-130.

De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., and Pisante, M., 2007. Notillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. Soil and Tillage Research 92: 69–78.

Derner, J.D., and Schuman, G.E., 2007. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects. Journal of Soil and Water Conservation 62(2): 77-85.

Diaz, R.J., and Rosenberg, R., 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. Science 321(5891): 926-929.

Dorodnikov, M., Blagodatskaya, E., Blagodatsky, S., Marhan, S., Fangmeier, A., and Kuzyakov, Y., 2009. Stimulation of microbial extracellular enzyme activities by elevated CO_2 depends on aggregate size. Global Change Biology 15: 1603–1614.

Drinkwater, L.E., Letourneau, D.K., Workneh, F., Van Bruggen, A.H.C., and Shennan, C., 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. Ecological Applications 5: 1098–1112.

Edmeades, D.C., 2003. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: A review.

Nutrient Cycling in Agroecosystems 66(2): 165-180.

Edwards, J.H.,Wood, C.W., Thurlow, D.L., and Ruf, M.E., 1992. Tillage and crop rotation effects on fertility status of a hapludult soil. Soil Science Society of America Journal 56: 1577-1582.

Egli, T., 1991. On multiple-nutrient-limited growth of microorganisms, with special reference to dual limitation by carbon and nitrogen substrates. Antonie van Leeuwenhoek 60: 225-234.

Ellert, B.H., and Bettany, J.R., 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soil under contrasting management regimes. Canadian Journal of Soil Science 75: 529-538.

Environmental Protection Agency (EPA). 1998. National Air Quality and Emission Trends Report, Report EPA 454/R-00-003, 2000.

Fliessbach, A., Oberholzer, H.R., Gunst, L., and Mäder, P., 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 118(1-4): 273-284.

Follett, R.F., Porter, L.K., and Halvorson, A.D., 1995. ^{15}N-labeled fertilizer dynamics in soil in a 4-year, no-till cropping sequence. In: Nuclear Techniques in Soil-Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation. Proceedings of an International Symposium sponsored by the IAEA and FAO, Vienna, Austria, October 17–21, 1994, pp. 165-174.

Forgani, A., 2003. Study of biochemical changes and humic and fulvic acids for different treated soils with organic matters. The 8th Iranian Soil Science Congress, August 31- September 3. pp. 15. (In Persian with English Summary)

Forouzeh, M.R., Heshmati, G., Ghanbarian, G., and Mesbah, S.H., 2008. Effect of floodwater irrigation on carbon sequestration potential of *Helianthemum lippii* (L.) Pers., *Dendrostell eralessertii* van Tiegh. and *Artemisia sieberi* Besser. in the Gareh Bygone plain: A Case study. Journal of Environmental Studies 46: 65-72. (In Persian with English Summary)

García, C., Hernández, M.T., and Costa, F., 1997. Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils. Soil Science and Plant Nutrition 28: 123–134.

Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1986. Particle size analysis, In: Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods. 2nd Ed. Agronomy 9(1). A.S.A., Inc., S.S.S. A. Inc., Madison Publisher, Wisconsin, USA.

Gomiero, T., Pimentel, D., and Paoletti, M.G., 2011. Is there a need for a more sustainable agriculture? Critical Reviews in Plant Sciences 30(1): 6-23.

Graham, M.H., Haynes, R.J., and Meyer, J.H., 2002. Soil organic matter content and quality: Effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. Soil Biology and Biochemistry 34: 93-102.

Gu, Y., Zhang, X., Tu, S., and Lindström, K., 2009. Soil microbial biomass, crop yields, and bacterial community structure as affected by long-term fertilizer treatments underwheat-rice cropping. European Journal of Soil Biology 45: 239–246.

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 Biology and Biochemistry 43: 1955-1960.

Hajjar, R., Jarvis, D.I., and Gemmill-Herren, B., 2008. The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. Agriculture Ecosystems and Environment 123(4): 261-270.

Halvorson, A.D., Reule, C.A., and Follett, R.F., 1999. Nitrogen fertilization effects on soil carbon and nitrogen in a dryland cropping system. Soil Science Society of America Journal 63: 912–917.

Hao, X.H., Liu, S.L., Wu, J.S., Hu, R.G., Tong, C.L., and Su, Y.Y., 2008. Effect of long-term application of inorganic fertilizer and organic amendments on soil organic matter and microbial biomass in three subtropical paddy soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems 81: 17–24.

Harrison, A.F., 1987. Soil Organic Phosphorus. C.A.B. International United Kingdom. 257 pp.

Hayes, T.B., Khoury, V., Narayan, A., Nazir, M., Park, A., Brown, T., Adame, L., Chan, E., Buchholz, D., and Stueve, T., 2010. Atrazine induces complete feminization and chemical castration in male African clawed frogs (*Xenopus laevis*). Proceedings of the National Academy of Sciences 107(10): 4612.

He, Z.L., Wu, J., ODonnell, A.G., and Syers, J.K., 1997. Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus and sulphur in soil sunder pasture. Biology and Fertility of Soils 24: 421-428.

Hojati, S., Nour Bakhsh, F., and Khavazi, K., 2006. Microbial biomass index, enzyme activities and corn yield in a soil

amended with sewage sludge. Iranian Journals of Soil and Waters Sciences 20(1): 84-93. (In Persian with English Summary)

Hooper, D.U., Chapin, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J., and Wardle, D.A. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. Ecological Monographs 75(1): 3-35.

Hutchins, S.R., Sewell , G.W., Kovacs, D.A., and Smith, G.A., 1991. Biodegradation of aromatic hydrocarbons by aquifer micro-organisms under denitrifying conditions. Environmental Science and Technology 25: 68–76.

Imeson, A., 2011. Desertification, Land Degradation and Sustainability. Wiley-Blackwell, Oxford. 326 pages.

IPCC., 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental panel on climate change. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual, vol. 4.

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.

Jackson, L., Rosenstock, T., Thomas, M., Wright, J.W., and Symstad, A., 2009. Managed ecosystems: biodiversity and ecosystem functions in landscapes modified by human use. pp. 178-194. In: Naeem, S., Bunker, D.E., Hector, A., Loreau, M., Perrings, C., (Eds.). Biodiversity, Ecosystem Functioning and Human Wellbeing. Oxford University Press Inc., New York, New York, USA. 384 pages.

Jenkinson, D.S., and Powlson, D.S., 1976. The effects of biocide treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. Soil Biology and Soil Biochemistry 8: 209-213.

Jihad Keshavarzi Khorasan Razavi. 2013. Statistical Yearbookof agriculture. Jihad Keshavarzi Khorasan Razavi. Mashhad, Iran. 219 pp. (In Persian)

Jin, H., Hongwen, L., Xiaoyan, W., Hugh, A., Wenying, L., Huanwen, G., and Kuhn, N., 2007. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. Soil and Tillage Research 94: 493-502.

Kahlon, M.S., Lal, R., and Ann-Varughese, M., 2013. Twenty-two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. Soil and Tillage Research 126: 151-158.

Kahrl, F., Li, Y., Su, Y., Tennigkeit, T., and Wilkes, A., 2010. Greenhouse gas emissions from nitrogen fertilizer use in China. Environmental Science and Policy 13: 688–694.

Khajeh Pour, M.R., 2004. Principles and Basics of Agronomy. Publication of Isfahan Jihad Daneshgahi of Isfahan University, Isfahan, Iran. (In Persian)

Khan, F.U.H., Tahir, A.R., and Yule, I.J., 2001. Intrinsic implication of different tillage practices on soil penetration resistance and crop growth. International Journal of Agriculture and Biology 3: 23-26.

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 and Tillage Research 133: 25-31.

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.

Khurshid, K., Iqbal, M., Arif, M.S., and Nawaz, A., 2006. Effect of tillage and mulch on soil physical properties and growth of maize. International Journal of Agriculture and Biology 8: 593-596.

Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2015. Life cycle assessment (LCA) for wheat production systems of Iran: Comparison of inputs level. Journal of Agroecology in Press. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Khorramdel, S., and Jafari, L., 2014. Evaluation of environmental consequences for agroecosystems under conventional management in Khorasan province. Journal of Agroecology in Press (In Persian with English Summary)

Kremen, C., and Miles, A., 2012. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: Benefits, externalities, and trade-offs. Ecology and Society 17(4): 40-64.

Kreuter, U.P., Harris, H.G., Matlock, M.D., and Lacey, R.E., 2001. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. Ecological Economics 39: 333–346.

Kundu, S., Bhattacharyya, R., Prakash, V., Ghosh, B.N., and Gupta, H.S., 2007. Carbon sequestration and relationship between carbon addition and storage under rainfed soybean–wheat rotation in a sandy loam soil of the Indian Himalayas. Soil and Tillage Research 92: 87–95.

Lal, L., 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. Environmental Pollution 116: 353–362.

Lal, R., 1976. No tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. Proceedings of Soil Science Society of America 40: 762–768.

Lal, R., 1993. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality and sustainability. Soil and Tillage Research 51: 61-70.

Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science 304: 1623–1627.

Lal, R., 2007. Anthropogenic influences on world soils and implications to global food security. In: Sparks, D.L. (Ed.), Advances in Agronomy 93: 69–93.

Lal, R., 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. Crop Science 50: S120–S131.

Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., and Stewart, B.A., 1997. Soil Processes and Carbon Cycles. CRC Press, Boca Raton, F.L., Campbell, C.A., Mc Conkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F., and Curtin, D., 1996. Tillage and crop rotation effects on soil organic C and N in a coarse-textured Typic Haploboroll in Southwestern Saskatchewan. Soil and Tillage Research 37: 3–14.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., and Rossi, J.P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. European Journal of Soil Biology 42: S3–S15.

Liang, Y., Yang, Y., Yang, C., Shen, Q., Zhou, J., and Yang, L., 2003. Soil enzymatic activity and growth rice and barley as influenced by organic manure in an anthropogenic soil. Geoderma 115: 149-160.

Lin, B.B., 2011. Resilience in agriculture through crop diversification: Adaptive management for environmental change. Bioscience 61(3): 183-193.

Liu, E., Yan, C., Mei, X., He, W., Bing, S.H., Ding, L., Liu, Q., Liu, S., and Fan, T., 2010. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. Geoderma 158: 173-180.

Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., and Niggli, U., 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science 296(5573): 1694.

Mahmood, T., Azam, F., Hussain, F., and Malik, K.A., 1997. Carbon availability and microbial biomass in soil under an irrigated wheat maize cropping systems receiving different fertilizer treatments. Biology and Fertility of Soils 25: 63-68.

MAJ (Ministry of Agriculture of the IR of Iran). 2012. Planning and Economics Department, Statistics Bank of Iranian Agriculture; http://www.maj.ir; 2012 (Accessed August 2014). (In Persian)

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. Agricultural Systems 104: 451–458.

Marschner, P., Kandeler, E., Marschner, B., and Patra, A.K., 2003. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment. Soil Biology and Biochemistry 35: 453–461.

Mc Lean, E.D., 1982. Soil pH and lime requirement, In: Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties. 2nd Ed. Agronomy 9(1). A. S. A. Inc., S. S. S. A. Inc., Madison Publisher, Wisconsin, USA. P.199-209.

Miransari, M., and Smith, D., 2009. Alleviating salt stress on soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) *Bradyrhizobiumjaponicum* symbiosis, using signal molecule genistein. European Journal of Soil Biology 45: 146–152.

Mohammadi, A., Rafiee, S., 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. Renewable and Sustainable Energy Reviews 30: 724–733.

Mohammadi, K., Nabi Allahi, K., Aghaalikhani, M., and Khormali, F., 2009. Study on the effect of different tillage methods on the soil physical properties, yield and yield components of rainfed wheat. Journal of Plant Production 16(4): 77-91. (In Persian with English Summary)

Moscatelli, M.C., Di Tizio, A., Marinari, S., and Grego, S., 2007. Microbial indicators related to soil carbon in mediterranean land use systems. Soil and Tillage Research 97(1): 51–59.

Mrabet, R., 2001. Le Système de semis direct: Pour une agriculture Marocaine durable et respectueuse de l'environnement. In: Séminaire sur les aléas climatiques et politiques agricoles. Association Marocaine de l'Agro-Economie, Rabat, Maroc, 24–25 Mai 2001, p. 337–348.

Namazi, S., Raiesi, F., and Ghorbani, S., 2012. The interactive effects of crude oil and N forms on C mineralization and

microbial biomass of a clay soil. Journal of Environmental Studies 38(3): 1-16. (In Persian with English Summary)
Noorbakhsh, F., Hajrasuliha, S., and Emtiazy, G., 2001. Factors affecting, urease enzyme activity in some soils in Isfahan province. JWSS- Isfahan University of Technology 5(3): 95-106. (In Persian with English Summary)
Ozpinar, S., and Baytekin, H., 2006. Effects of tillage on biomass, roots, N accumulation of vetch (*Vicia sativa* L.) on a clay loam soil in semi-arid conditions. Field Crops Research 96: 235–242.
Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., and Seidel, R., 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. Bioscience 55(7): 573-582.
Post, W.M., and Kwon, K.C., 2000. Soil carbon sequestration and land-use change, processes and potential. Global Change Biology 6(3): 317-327.
Raiesi, F., and Ghollarata, M., 2006. Interactions between phosphorous availability and an AM fungus (*Glomus intraradices*) and their effects on soil microbial respiration, biomass and enzyme activities in a calcareous soil. Pedobiologia 50: 413-425.
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. Electronic Journal of Crop Production 5(3): 23-44.
Rashidi, M., and Keshavarzpour, F., 2007. Effect of different tillage methods on grain yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agriculture and Biology 9: 274-277.
Rashidi, M., and Keshavarzpour, F., 2008. Effect of different tillage methods on soil physical properties and crop yield of melon (*Cucumis melo*). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 3: 31-36.
Rashidi, M., Keshavarzpour, F., and Gholami, M., 2008. Effect of different tillage methods on yield and yield components of forage corn. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 3: 347–351.
Rashidi, Z., Zare, M.J., Rejali, F., and Ashraf Mehrabi, A., 2011. Effect of soil tillage and integrated chemical fertilizer and biofertilizer on quantity and quality yield of bread wheat and soil biological activity under dry land farming. Iranian Journal of Crop Production 4(2): 189-206. (In Persian with English Summary)
Reganold, J.P., Andrews, P.K., Reeve, J.R., Carpenter-Boggs, L., Schadt, C.W., Alldredge, J.R., Ross, C.F., Davies, N.M., Zhou, J., and El-Shemy, A.H., 2010. Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. PLOS|ONE 5(9): e12346.
Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., and Mollafilabi, A., 2015. Evaluation of soil physical and chemical characteristics impacts on morphological criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Research in Press. (In Persian with English Summary)
Rodhe, H., 1990. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse. Science 248: 1217–1219.
Ros, M., Hernandez, M.T., and Garcia, C., 2003. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments. Soil Biology and Biochemistry Journal 35: 463-469.
Saha, S., Mina, B.L., Gopinath, K.A., Kundu, S., and Gupta, H.S., 2008. Relative changes in phosphatase activities as influenced by source and application rate of organic composts in field crops. Bioresource Technology Journal 99: 1750-1757.
Schahczenski, J., and Hill, H., 2009. Agriculture, Climate Change and Carbon Sequestration. ATTRA Publications. pp. 16.
Scialabba, N., and Müller-Lindenlauf, M., 2010. Organic agriculture and climate change. Renewable Agriculture and Food Systems 25: 158–169.
Shaver, T.M., Peterson, G.A., Ahuja, L.R., Westfall, D.G., Sherrod, L.A., and Dunn, G., 2002. Surface soil physical properties after twelve years of dry land no-till management. Soil Science Society of America Journal 66: 1296–1303.
Shirani, H., Hajabbasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A., 2002. Effects of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. Soil and Tillage Research 68: 101–108.
Six, J., Elliott, E.T., and Paustian, K., 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. Soil Biology and Biochemistry 32: 2099-2103.
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. Agriculture, Ecosystems and Environment 133: 247-266.
Souvannavong, V., Lemaire, C., De Nay, D., Brown, S., and Adam, A., 1995. Expression of alkaline phosphatase by a B-cell hybridoma and its modulation during cell growth and apoptosis. Immunology Letters 47: 163-170.
Su, Y.Z., 2007. Soil carbon and nitrogen sequestration following the conversion of cropland to alfalfa forage land in

northwest China. Soil and Tillage Research 92(1-2): 181-189.

Tabatabai, M.A., 2003. Enzymes: Past, present and future. Second international conference on enzyme in the environment: Activity, Ecology and Application. Prague, Czech Republic p. 14-17.

Tengo, M., and Belfrage, K., 2004. Local management practices for dealing with change and uncertainty: A cross-scale comparison of cases in Sweden and Tanzania. Ecology and Society 9(3): 4.

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 and Bioenergy 34: 960–966.

Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., and Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418(6898): 671-677.

Tisdale, S.L., and Nelson, W.L., 1993. Soil Fertility and Fertilizers. Technology and Engineering 634 pp.

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. Agriculture systems 85: 101-119.

Van Wie, J.B., Adama, J.C., and Ullman, J.L., 2013. Conservation tillage in dryland agriculture impacts watershed hydrology. Journal of Hydrology 483: 26-38.

Verbruggen, E., Roling, W.F.M., Gamper, H., Kowalchuk, G.A., Verhoef, H.A., and Van Der Heijden, M.G.A., 2010. Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: Large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. New Phytologist 186(4): 968-979.

Verge, X.P.C., Kimpe, C.D., and Desjardins, R.L., 2007. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. Agricultural and Forest Meteorology 142: 255–269.

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 Science Society of American Journal 37: 29-38.

Weil, R.R., and Magdoff, F., 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. pp. 1-42. In: F. Magdoff and R.R. Weil, editors. Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Witter, E., and Kanal, A., 1998. Characteristics of the soil microbial biomass in soils from a long-term field experiment with different levels of C input. Applied Soil Ecology 10: 37-49.

Yao, Z., Zheng, X., Xie, B., Mei, B., Wang, R., Butterbach-Bahl, K., Zhu, J., and Yin, R., 2009. Tillage and crop residue management significantly affects N-trace gas emissions during the non-rice season of a subtropical rice-wheat rotation. Soil Biology and Biochemistry 41: 2131–2140.

Yousefi, M., Khoramivafa, M., and Mondani, F., 2014 a. Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris*) agroecosystems in Iran. Atmospheric Environment 92: 501-505.

Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A.M., and Khoramivafa, M., 2014 b. Energy consumption, greenhouse gas emissions and assessment of sustainability index in corn agroecosystems of Iran. Science of the Total Environment 493: 330–335.

Zan, C.S., Fyles, J.W., Girouard, P., and Samson, R.A., 2001. Carbon sequestration in perennial bioenergy, annual corn and uncultivated systems in southern Quebec. Agriculture, Ecosystems, and Environment 89(2): 135-144.

Zarea, M.J., Ghalavand, A., Mohammadi Goltapeh, E., and Rejali, F., 2008. Influence of forage legumes mixed cropping on biomass yield, soil microbial biomass and nitrogenase activity. Green Farm Journal 1(6): 12–15

Zhang, M.Y., Wang, F.J., Chen, F., Malemela, M.P., Zhang, H.L., 2013. Comparison of three tillage systems in the wheat-maize system on carbon sequestration in the North China Plain. Journal of Cleaner Production 54: 101-107.

Zhang, Y., Li, Z., Feng, J., Zhang, X., Jiang, Y., Mingqian, J.C., Deng, A., and Zhang, W., 2014. Differences in CH_4 and N_2O emissions between rice nurseries in Chinese major rice cropping areas. Atmospheric Environment 96: 220-228.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 593-617

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۱۷-۵۹۳

Evaluation of Soil Ecosystem Services and Carbon Balance for Different Agroecosystems in Khorasan

A. Koocheki[1*] and S. Khorramdel[2]
Submitted: 01-05-2015
Accepted: 13-01-2016

Koocheki, A., and Khorramdel, S., 2022. Evaluation of soil ecosystem services and carbon balance for different agroecosystems in Khorasan. Journal of Agroecology 13(4):593-617.

Introduction

Soil is the basic element for all ecosystem services which enhances different functions of ecosystems. It provides and regulates a large number of ecosystem services and functions, and plays an important role in human health. Results of some experiments indicate a positive correlation between ecologically-based soil management with qualitative soil indices. Increase in soil organic matter enhances 10 different functions in agricultural ecosystems including biogeochemical cycle, nutrient returns, formation, and stability of soil aggregate, water purification and holding capacity, pH regulation, decreasing of erosion and finally crop growth improvement. In agricultural ecosystems, crop yield is notably dependent on soil properties. It has been stated that maintaining function and services of ecosystems could only be achieved by proper soil management. As a consequence of land use, global warming, climate change and conventional management, soil ecosystem services are being drastically degraded, endangering food safety for coming generations. This decreases soil ecosystem services and functions regulation capacity and affects the sustainability of the communities. It has been observed that no-tillage system which results in less soil disturbance and more accumulated crop residue has physical, chemical, and biological properties.

Materials and Methods

In order to evaluate soil ecosystem services based on different low and high input management in Khorasan province, the samples were taken from 10 sites by completely randomized design with four replications in 2014. The soil samples were collected from the depth of 0-30 cm in low input fields of saffron and orchards, high input wheat and corn fields, and annual research field (Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad). Physical and chemical soil properties such as bulk density, organic carbon, total nitrogen, available P and K, pH, electrical conductivity (EC), and also biological criteria including microbial biomass carbon, dehydrogenase, and phosphatase enzyme activity were measured. Inputs used including chemical fertilizer, herbicide, insecticide, fungicide and also the acreage for wheat, tomato, alfalfa, corn, potato, sugar beet and canola were determined during the growing season of 2013-2014. After calculating greenhouse gases emission including CO_2, N_2O and CH_4 based on emission indices, global warming potential was computed.

Results and Discussion

Results showed that type of ecosystem management affected all soil properties except the acidity ($p \leq 0.01$). Management of high input and annual field crops (experimental) and also farmers' fields caused reduction of organic carbon content, total nitrogen, available P, available K, EC, microbial biomass carbon, dehydrogenase and phosphatase enzyme activity and carbon sequestration in comparison with perennial field of saffron. However, bulk density was reduced. The highest and the lowest carbon contents were observed for orchard and annual experimental fields with 0.104 and 0.036 percent, respectively. The highest and the lowest sequestered carbon were observed for orchard and annual field crops (experimental) with 335.31 and 182.48 kg carbon per

1- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
(* Corresponding author: akooch@um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v1i1.46433

ha, respectively. Management of perennial fields (saffron), annual corn field and annual wheat field caused reduction of 12, 35 and 41 percent, respectively, in sequestered carbon compared with that for orchard fields. The highest global warming potential (GWP) was recorded for corn and potato with 3.69 ton CO_2 equivalent per ha which was 53, 37, 16 and 12 percent higher than those for wheat, sugar beet, tomato and corn, respectively. The lowest GWP was recorded for canola with 1.35 ton CO_2 equivalent per ha.

Conclusion

It can be concluded that reduction of chemical fertilizer and applying more organic inputs seem to be rational ecological approaches for sustainable management of the cropping ecosystem with a consequence of reduction in greenhouse gases and climate change mitigation. These sustainable practices are crucial to improve soil biodiversity. Using pesticides and herbicides has, however, a negative impact on biodiversity.

Acknowledgement

This research (29347.2) was funded by the vice chancellor for research of Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged.

Keywords: Emission of greenhouse gases, Chemical fertilizer, Intensive management, Perennial field, Organic input