



تأثیر روش‌های خاک‌ورزی، مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کود نیتروژن بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن از خاک تحت کشت ذرت (*Zea mays L.*)

روح اله مرادی^{۱*} - علیرضا کوچکی^۲ - مهدی نصیری محلاتی^۳ - حامد منصور^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۲۳

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی اثر انواع شخم، مدیریت بقایای ذرت و سطوح کود نیتروژن بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن جهت کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیم انجام شد. بدین منظور، یک آزمایش دو ساله (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی مشهد به صورت اسپلیت پلات نواری بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورهای اصلی شامل انواع شخم (۱- شخم رایج و ۲- شخم حداقل) و مدیریت بقایای ذرت (۱- حفظ بقایای گیاهی محصول سال قبل و ۲- عدم وجود بقایای گیاهی) که عمود بر هم اجرا شدند و فاکتور فرعی شامل سطوح مختلف کود اوره (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) که در داخل شخم اسپلیت گردید، بودند. نتایج نشان داد که میزان انتشار دی‌اکسید کربن برای سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ در شخم رایج حدود ۱۵ و ۱۰ درصد بیشتر از شخم حداقل بود. حفظ بقایا در سطح خاک منجر به افزایش معنی‌دار انتشار دی‌اکسید کربن نسبت به شرایط عدم وجود بقایای گیاهی در هر دو سال آزمایش شد. به طوری که، میزان انتشار در شرایط وجود بقایای گیاهی در سال اول و دوم به ترتیب حدود ۴/۳۶ و ۵/۳۷ برابر انتشار در عدم حضور بقایای گیاهی بود. با افزایش سطوح کود نیتروژن میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن افزایش یافت. نتایج نشان داد که میزان انتشار در سال دوم تحت تأثیر کلیه اثرات ساده و متقابل تیمارهای مورد بررسی بیشتر از سال اول آزمایش بود. در بررسی انتشار روزانه دی‌اکسید کربن، مشاهده شد که میزان انتشار در هر دو سال آزمایش بیشتر تحت تأثیر بقایای گیاهی قرار گرفت تا نوع شخم و سطوح کود اوره. میزان این صفت تحت تأثیر شخم رایج، وجود بقایای ذرت و سطوح بالای مصرف اوره بالاتر از شخم حداقل، عدم حضور بقایا و سطوح پایین کودی بود. نتایج رگرسیون خطی بین درجه حرارت هوا و میانگین انتشار روزانه دی‌اکسید کربن نشان داد که همستگی مثبت بین درجه حرارت هوا و انتشار دی‌اکسید کربن وجود داشت.

واژه‌های کلیدی: اتافک بسته، تخفیف، تغییر اقلیم، گاز گلخانه‌ای، گاواهن

مقدمه

که اگر میزان افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به همین طریق افزایش یابد، میانگین دما کره زمین در آینده‌ای نزدیک به‌طور خطرناکی افزایش پیدا خواهد کرد (۱۶).

کشاورزی سهم مهمی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. منابع اصلی این گازها سوخت‌های فسیلی استفاده شده در فعالیت‌های کشاورزی، تلفات کربن خاک به دلیل عملیات خاک‌ورزی، سوزاندن بقایای گیاهان زراعی و درختان جنگلی، دامداری و استفاده از کودهای دامی، ساخت و بهره‌برداری از کود نیتروژن و کشت و کار برنج غرقابی است (۲۱). با توجه به این که بسیاری از خاک‌ها بیش از ۱۰۰ سال است که در آن‌ها کشت و کار می‌شود، کشاورزی و خاک‌ورزی فشرده باعث کاهش ۳۰ تا ۵۰ درصد کربن خاک شده است (۲۰). مقدار کربن آلی موجود در خاک به موازنه بین میزان کربن تثبیت شده از طریق فتوسنتز وارد زیست توده گیاهی می‌شود و اتلاف کربن از طریق تجزیه میکروبی بستگی دارد. عملیات کشاورزی با تجزیه ماده

امروزه جهان با انواع مختلفی از چالش‌های محیطی مواجه شده است. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای منجر به تغییرات اقلیمی شده‌اند که خود تأثیر مهمی در میزان تولید بوم‌نظام‌های کشاورزی جهان دارد. فصل رشد گیاهان زراعی تغییر کرده، چرخه زندگی آفات عوض شده است و وقوع تنش خشکی در بسیاری از مناطق دنیا شدت یافته است (۴۵). علاوه بر این، جمع بندی مدل‌های تجربی مورد بررسی در مورد تغییر اقلیم نشان می‌دهد

۱- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه

شهید باهنر کرمان

(Email: Roholla18@gmail.com)

*- نویسنده مسئول:

۲، ۳ و ۴- به ترتیب استادان و دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دی‌اکسید کربن انجام گرفته است. به‌عنوان مثال، لا-اسکالا و همکاران (۲۳) تأثیر شخم رایج و بدون شخم را بر انتشار دی‌اکسید کربن در کشت چغندر قند در کشور برزیل مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که سیستم بدون شخم میزان انتشار این گاز را نسبت به شخم رایج کاهش داد و آن را به‌عنوان یکی از راهبردهای تخفیف تغییر اقلیم معرفی کردند. این محققین گزارش نمودند که از بین عوامل اقلیمی دما و رطوبت، تأثیر رطوبت بر انتشار دی‌اکسید کربن بیشتر از درجه حرارت بود. همچنین، لیو و همکاران (۲۷) با بررسی تأثیر انواع شخم و منابع نیتروژن بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن گزارش نمودند که میزان انتشار این گاز در سیستم بدون شخم به‌طور معنی‌داری بالاتر از سیستم شخم رایج بود. از طرفی، اُموندی و همکاران (۳۸) تأثیر سه نوع مختلف شخم شامل شخم با گاو آهن، شخم با چپزل و عدم شخم را بر انتشار گازهای متان و دی‌اکسید کربن از خاک در مزرعه ذرت مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که میزان انتشار دی‌اکسید کربن در سیستم شخم با چپزل بالاتر از شخم رایج و عدم شخم بود، در حالی که سیستم بدون شخم و شخم با گاو آهن به ترتیب بیشترین و کمترین انتشار متان را شامل شدند. همچنین این محققین بیان نمودند که میزان رطوبت و دمای خاک تأثیر مثبتی بر انتشار این گازها داشتند.

تاکنون مطالعه ای در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک در ایران صورت نگرفته است. بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر روش‌های خاک‌ورزی، مدیریت بقایای گیاهی و سطوح مختلف کود نیتروژن بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن از خاک در زراعت ذرت در منطقه مشهد بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا در طی دو سال زراعی ۹۰-۸۹ و ۹۱-۹۰ اجرا شد. تغییرات بارندگی و درجه حرارت این منطقه در طول فصل رشد ذرت در دو سال آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع با دستگاه هدایت سنج مدل ۶۴۴ pH خاک در گل اشباع با دستگاه pH متر مدل ۶۲۰ فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن (۳۷)، پتاسیم قابل جذب خاک به روش عصاره گیری با استات آمونیوم و قرائت با دستگاه شعله سنج (۲) و نیتروژن خاک به روش کجلدال (۴) اندازه‌گیری شدند. به‌نظر می‌رسد استفاده مداوم از کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر در مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد یکی از دلایل شوری بالای خاک در این مزارع باشد.

آلی حاصل از بقایای گیاهان زراعی منجر به تغییر در ورود و خروج جریان گازهای گلخانه‌ای از خاک می‌شود (۲۸ و ۵۳).

از آن‌جائی که تولید محصولات زراعی مستقیماً به شرایط اقلیمی وابسته است، کشاورزی یکی از اولین بخش‌هایی است که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد (۳۳ و ۴۷). اگرچه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، ولی تغییر در مدیریت مربوط به آبیاری، خاک، رقم محصول، فعالیت‌ها و فناوری‌های مورد استفاده در کشت محصولات زراعی، می‌تواند در کاهش اثرات مضر تغییر اقلیم بر رشد، نمو و عملکرد محصولات کشاورزی نقش بسزایی داشته باشد (۳۹). تخفیف^۱ و سازگاری^۲ دو روش شناخته شده برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم می‌باشد. از جمله راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و به‌عبارتی تخفیف اثرات منفی تغییرات اقلیم می‌توان به کاهش مکانیزاسیون، کشت و کار گیاهان زراعی با هدف تولید سوخت‌های زیستی (۱۰، ۳۶، ۴۲)، حرکت به سمت کشاورزی ارگانیک (۴۸)، استفاده از شخم حفاظتی (۹، ۳۴ و ۴۴)، ترسیب دی‌اکسید کربن به‌صورت کربن آلی در خاک (۲۴، ۵۰ و ۵۲) و کاهش کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنه (۵۱ و ۵۲) اشاره نمود. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که کشاورزان نیاز به روش‌هایی دارند تا بتوانند میزان پیامدهای منفی تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی خود را کاهش دهند.

تأیید شده است که تبدیل شخم رایج به شخم حفاظتی می‌تواند سالانه حدود ۰/۱ درصد دی‌اکسید کربن اتمسفر را در عمق ۵-۰ سانتی متری خاک ترسیب نماید و این رقم در یک دوره ۲۵ تا ۳۰ ساله به حدود ۱۰ تن می‌رسد (۴۰). این کربن ترسیب شده در نتیجه شخم حفاظتی به‌دلیل افزایش ماده آلی خاک باعث حفظ و بهبود نیتروژن خاک نیز می‌گردد (۱۱، ۲۲ و ۴۶). شخم باعث تغییرات زیادی در شرایط محیطی زیر خاک، تجزیه بقایای گیاه زراعی و تغذیه در پروفیل خاک می‌شود (۳۴). سیستم بدون شخم رژیم دمایی متفاوت با خاک شخم خورده داشته (۱۴ و ۱۸) و اغلب از فشردگی سطحی بیشتر برخوردار می‌باشد (۲۵) که منجر به زهکشی و تهویه ضعیف‌تر در آن می‌گردد. این باعث می‌شود که گاز با سرعت آهسته‌تری از خاک خارج گردد (۵). از طرفی، در سیستم بدون شخم، سهم بیشتری از بقایای گیاه زراعی در مقایسه با شخم رایج در سطح خاک باقی می‌ماند. از آنجائیکه این بقایا با خاک مخلوط نشده و کمتر در معرض ریزجانداران قرار می‌گیرند، از سرعت تجزیه پایین‌تری برخوردار می‌باشند (۳۴).

پژوهش‌های مختلفی در زمینه بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی، مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کود نیتروژن بر انتشار گاز

- 1- Mitigation
- 2- Adaptation

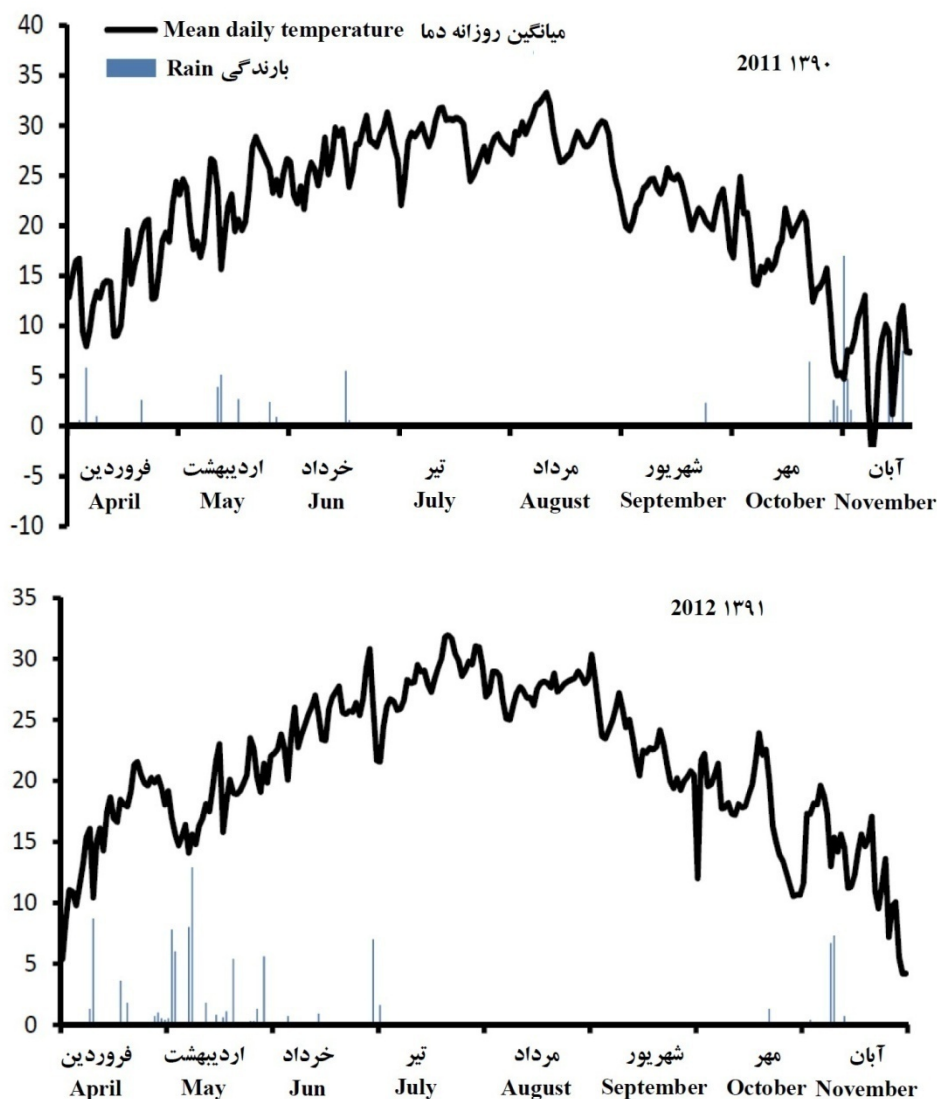
شامل کود نیتروژن در ۴ سطح (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره ۴۶ درصد) بود که در داخل شخم اسپلیت گردید. برای اعمال تیمار بقایای گیاهی در سال اول آزمایش، بقایای یک مزرعه ذرت در پاییز سال ۱۳۸۹، به مقدار ۶۲۰۰ کیلوگرم در هکتار توزین و به زمین اضافه گردید و با دیسک خرد شد. تیمار عدم بقایا نیز با فاصله ۱۰ متر از تیمار حضور بقایای گیاهی در نظر گرفته شد.

آزمایش به صورت اسپلیت پلات نواری بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورهای اصلی شامل شخم در دو سطح (۱- شخم رایج که شامل لولر، گاو آهن تا عمق ۴۰-۳۰ سانتی متر، دیسک و فاورتر بود و ۲- شخم حداقل که فقط زمین دیسک و فاورتر خورد و کشت انجام شد) و بقایای گیاهی نیز در دو سطح (۱- حفظ بقایای گیاهی محصول سال قبل و ۲- عدم وجود بقایای گیاهی) بودند که شخم عمود بر بقایا اجرا گردید. فاکتور فرعی

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of studied filed soil

بافت خاک Soil texture	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	EC (dS m ⁻¹)	pH	مواد آلی خاک (%) Soil organic matters
Clay loam لومی رسی	0.079	13.6	375	3.36	7.49	0.047



شکل ۱- میانگین دمای روزانه (درجه سانتی‌گراد) و بارندگی (میلی‌متر) طی فصل رشد ذرت برای مشهد در سال‌های مورد بررسی

Figure 1- Mean daily temperature (° C) and Rain (mm) in growing season for studied region

مسدود شده و توسط چسب دوقلوی شفاف آب‌بندی گردید. در یک سوم بالایی لوله‌ها یک سوراخ برای نمونه‌گیری تعبیه و به‌وسیله اسفنج مسدود و با چسب آب‌بندی شد.

برای نمونه‌گیری از سرنگ مخصوص ۱۰ میلی‌لیتری استفاده شد. نمونه‌گیری در سال اول آزمایش در ۵ نوبت نهم خرداد، هشتم تیر، هشتم مرداد، ششم شهریور و ۲۶ شهریور و در سال دوم نیز در تاریخ‌های ۱۵ خرداد، ۱۴ تیر، ۱۳ مرداد، ۱۲ شهریور و ۲۷ شهریور انجام شد. بدین منظور، لوله‌ها در ساعت ۴-۲ بعد از ظهر در تاریخ‌های مذکور که اکثراً ۴ روز پس از آبیاری بود، تا عمق ۵ سانتی‌متری در خاک فرو برده شده و پس از دو ساعت نمونه‌گاز داخل لوله توسط سرنگ جمع‌آوری و به درون شیشه‌های نمونه‌گیری (Vacuum-blood collection vial) ۶ میلی‌لیتری (با مارک Push که درون آن‌ها خلاء بود و با هدایت سرنگ، هوا خود بخود به داخل آن‌ها کشیده می‌شد) منتقل گردید. جهت مقایسه با شرایط عادی، یک اتاقک بسته نیز در خارج از مزرعه در زمین خالی تعبیه می‌شد و یک نمونه هوا از آن نیز گرفته می‌شد. نمونه‌ها کاملاً بسته‌بندی شده و برای آنالیز به آزمایشگاه در تهران منتقل گردید. در آن‌جا، توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی^۱ میزان دی‌اکسید کربن بر اساس یک در میلیون (پی‌پی‌ام) گزارش شد. سپس بر اساس وزن گاز موجود در اتاقک، میزان انتشار گازها بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. داده‌های حاصل از آزمایش بر اساس طرح آماری مورد استفاده، توسط نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد جهت مقایسه میانگین استفاده شد. رسم نمودارها نیز توسط نرم افزار SigmaPlot انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که در هر دو سال مورد بررسی، میزان انتشار دی‌اکسید کربن در شخم رایج به‌طور معنی‌داری بیشتر از شخم حداقل بود (جدول ۲). به‌طوری‌که، میزان انتشار این گاز برای سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ در شخم رایج حدود ۱۵ و ۱۰ درصد بیشتر از شخم حداقل بود. در شرایط شخم رایج خاک به‌دلیل اعمال شخم توسط گاو آهن از تهویه مناسب‌تر نسبت به شخم حداقل برخوردار می‌باشد (۶ و ۸) که این موضوع باعث خروج راحت‌تر و بیشتر هوا و دی‌اکسید کربن از خاک می‌شود (۸ و ۴۹). از طرف دیگر، در شخم رایج به دلیل مخلوط شدن بیشتر بقایا با خاک و تا عمق بیشتر، تجزیه بقایا و در نتیجه فعالیت ریزجانداران خاک و تولید دی‌اکسید کربن نسبت به شخم حداقل به مراتب بیشتر از شخم حداقل می‌باشد (۱۷). بنابراین، به نظرمی رسد این عوامل در بیشتر بودن میزان انتشار گاز دی‌اکسید

تیمار شخم رایج و حداقل عمود بر بقایای گیاهی اعمال شد. قبل از کاشت از خاک محل آزمایش نمونه‌های (۳ نمونه) تصادفی از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک به‌صورت جداگانه برای تیمارهای بقایای گیاهی انتخاب شده و برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

عملیات کاشت

کاشت در سال اول آزمایش در تاریخ ۱۰ اردیبهشت سال ۱۳۹۰ و در سال دوم آزمایش در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ۱۳۹۱ در کرت‌هایی به ابعاد ۴×۳ متر انجام گرفت. جهت کاشت ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴)، پس از تهیه زمین بر اساس تیمارهای مورد بررسی، با استفاده از فاروئر جوی و پشته‌هایی به عمق ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین دو ردیف ۷۰ سانتی‌متر آماده شد. بذور به‌صورت دستی و در عمق یکسان روی ردیف‌ها کشت شد. نیمی از کود مورد استفاده بر اساس تیمارهای مورد آزمایش قبل از کاشت به زمین اضافه و با خاک مخلوط گردید. در سال دوم آزمایش کاشت در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ۱۳۹۱ انجام گرفت. شرایط کاشت شبیه سال اول اجرا گردید و کاشت در محل سال قبل هم برای تیمار بقایا و هم عدم بقایا انجام گرفت.

عملیات داشت

اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر ۱۰ روز یکبار تا آخر فصل رشد به روش نشتی و توسط سیفون انجام شد. سبز شدن اولیه گیاه ۵ روز پس از کاشت صورت گرفت. با رسیدن گیاه به ارتفاع ۵ سانتی‌متر، برای حصول تراکم مناسب، مزرعه طی دو نوبت تنک شد، به‌طوری‌که که در نهایت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی نوار یک گیاه باقی ماند. مبارزه با علف هرز توسط وجین دستی در ۴ نوبت انجام گرفت. ضمناً در طول مرحله رشدی، گیاه با هیچ‌گونه آفت و بیماری روبرو نشد. در هر دو سال آزمایش، نصف باقیمانده کود مصرفی در روز ۶۵ و در اواسط مرحله گلدهی به خاک اضافه گردید.

اندازه‌گیری میزان انتشار دی‌اکسید کربن

برای اندازه‌گیری میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن (CO₂) از روش اتاقک بسته^۱ استفاده گردید. این روش توسط محققان بسیاری استفاده شده است. برای این منظور از لوله پلی اتیلن به قطر ۸ اینچ (حدود ۲۰ سانتی‌متر)، ضخامت یک سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر تهیه شد. یک طرف آنها به‌وسیله گِردِه تفلن به ضخامت ۲ سانتی‌متر

2- Gas Chromatograph

1- Closed chamber

بالا تر بودن میزان رطوبت خاک در شرایط حفظ بقایای گیاهی (۲۴) نیز می‌تواند در انتشار گاز دی‌اکسید کربن نقش داشته باشد. در هماهنگی با این پژوهش هونگا و همکاران (۱۵) نشان دادند که همبستگی مثبت با ضریب تبیین ۸۶ بین میزان بقایای گیاهی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن وجود دارد. البته باید خاطر نشان نمود که در اکثر مناطق ایران، قبل از کشت محصول بعدی، بقایای گیاهی برای سهولت در عملیات آماده‌سازی و شخم زمین سوزانده می‌شوند که باعث انتشار مقدار زیادی گاز دی‌اکسید کربن به اتمسفر می‌گردد.

نتایج نشان داد که با افزایش سطوح کودی مورد استفاده، میزان انتشار دی‌اکسید کربن افزایش معنی داری یافت، به طوری که بیشترین انتشار در سطح کودی ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان این پارامتر در شرایط عدم کوددهی به دست آمد (جدول ۲). در مطالعات مختلف گزارش شده است که در شرایط کمبود عناصر غذایی و بی‌روژن، ریز موجودات خاک با گیاه زراعی برای جذب عناصر غذایی در حال رقابت می‌باشند (۱۲ و ۱۳) و گیاه زراعی با جذب عناصر غذایی فعالیت این ریزموجودات را کاهش می‌دهد (۵۱). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش فعالیت ریزموجودات خاک به دلیل کمبود منبع نیتروژن، مهم‌ترین دلیل کمتر بودن میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در سطوح کودی پایین نسبت به سطح ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باشد.

در کلیه تیمارهای مورد بررسی، میزان انتشار دی‌اکسید کربن در سال دوم بیشتر از سال اول بود (جدول ۲). از آنجائی که، انتشار دی‌اکسید کربن رابطه مستقیمی با میزان مواد آلی موجود در خاک دارد، به نظر می‌رسد بیشتر بودن مواد آلی خاک در سال دوم (نتایج نشان داده نشده است)، و از طرفی تجزیه بیشتر مواد آلی و کربن در سال دوم می‌تواند مهم‌ترین دلیل انتشار بیشتر دی‌اکسید کربن نسبت به سال اول آزمایش باشد.

کربن در شخم رایج نسبت به شخم حداقل در این پژوهش نیز موثر بوده است. در هماهنگی با این پژوهش لا-اسکالا و همکاران (۲۳) تأثیر شخم رایج و بدون شخم را بر انتشار دی‌اکسید کربن مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که سیستم شخم رایج میزان انتشار این گاز را نسبت به شخم حفاظتی افزایش داد. این محققین شخم حفاظتی را به عنوان یکی از راهبردهای تخفیف اثرات منفی تغییر اقلیم معرفی کردند. اما نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج رجینا و آلاکو کو (۴۳) که گزارش نمودند که اختلافی از نظر نوع شخم در انتشار گاز دی‌اکسید کربن وجود ندارد، هماهنگی ندارد. این محققین علت این امر را چنین گزارش نمودند که شخم رایج باعث تهویه مناسب‌تر و افزایش خروج گازهای گلخانه‌ای می‌شود و شخم حداقل با افزایش رطوبت خاک در انتشار گاز دی‌اکسید کربن نقش دارد. این موضوع باعث عدم اختلاف دو نوع شخم از نظر انتشار این گاز شده است. همچنین در عدم هماهنگی با این پژوهش اُموندی و همکاران (۳۸) تأثیر انواع مختلف شخم شامل شخم با گاو آهن، شخم با چپزل و عدم شخم را بر انتشار دی‌اکسید کربن از خاک در مزرعه ذرت را مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که میزان انتشار دی‌اکسید کربن در سیستم شخم حداقل بالاتر از شخم رایج بود. آن‌ها دلیل آن را میزان رطوبت بیشتر خاک ذکر نمودند.

حفظ بقایا در سطح خاک منجر به افزایش معنی دار انتشار دی‌اکسید کربن نسبت به شرایط عدم بقایای گیاهی در هر دو سال آزمایش شد (جدول ۲). این اختلاف برای سال اول حدود ۳۳۴ درصد و برای سال دوم حدود ۴۳۷ درصد بود (جدول ۲). هنگامی که میزان بقایای گیاهی در خاک افزایش می‌یابد، باعث افزایش جمعیت ریزموجودات خاک (۱۷) و فعالیت این موجودات می‌گردد (۱۷ و ۲۷) و در نتیجه منجر به افزایش تولید و انتشار دی‌اکسید کربن نسبت به زمان خروج بقایا از زمین شده است. لا-اسکالا و همکاران (۲۳) گزارش نمودند که از بین عوامل اقلیمی دما و رطوبت، تأثیر رطوبت بر انتشار دی‌اکسید کربن بیشتر از درجه حرارت می‌باشد. بنابراین

جدول ۲- تأثیر مدیریت شخم، بقایا و کود نیتروژن بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن در کشت ذرت

Table 2- Effect of tillage management, residual and N fertilizer on CO₂ emission in maize cultivation

تیمار Treatment	CO ₂ emission (kg ha ⁻¹) انتشار CO ₂	سال اول First year	سال دوم Second Year
		شخم رایج Conventional tillage	597a
شخم حداقل Reduced tillage	521b	610b	
مدیریت بقایا Residual management			
بدون بقایا No-residual	209b	201b	
حضور بقایا With-residual	909a	1079a	
کود اوره (kg ha ⁻¹) Urea fertilizer (kg ha ⁻¹)			
0	417c	499d	
150	530b	613c	
300	611ab	694b	
450	679a	754a	

گذشت زمان به دلیل کاهش ماده آلی و همچنین مواد غذایی خاک، میزان فعالیت و تنفس ریشه و ریز جانداران خاک کاهش یافته (۵۰) و این موضوع باعث کاهش میزان انتشار دی اکسید کربن شده است و در شرایط حضور بقایا عکس این موضوع اتفاق افتاده و با گذشت زمان شرایط برای انتشار بیشتر این گاز مهیا گردیده است.

اثر متقابل شخم و کود نیتروژن نشان داد که با افزایش سطوح کود نیتروژن میزان انتشار گاز دی اکسید کربن از خاک به اتمسفر هم در شخم رایج و هم شخم حداقل افزایش معنی داری نشان داد (جدول ۴) که این موضوع برای هر دو سال آزمایش صادق بود. در هر دو سال مورد بررسی، در کلیه سطوح کودی، میزان انتشار در شخم رایج بالاتر از شخم حداقل بود.

در هر دو نوع شخم و در کلیه سطوح کودی، میزان انتشار گاز در سال اول کمتر از سال دوم بود (جدول ۴). به طور کلی، بیشترین (Kg $CO_2 ha^{-1}$) و کمترین ($40.2 Kg CO_2 ha^{-1}$) به ترتیب در سطح کودی ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط شخم رایج در سال دوم آزمایش و شرایط عدم کوددهی در شخم حداقل در سال اول به دست آمد (جدول ۴). میزان انتشار گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن تحت تأثیر مدیریت نیتروژن در تناوب ذرت-سویا توسط پلستر و همکاران (۴۱) در کانادا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان استفاده از کود نیتروژن اثر معنی داری بر انتشار این گاز داشت و با افزایش سطوح نیتروژن میزان انتشار این گاز افزایش یافت.

در بررسی برهمکنش انواع شخم و مدیریت بقایای ذرت مشاهده شد که تیمار حضور بقایا در شخم رایج طی سال دوم با انتشار ۱۱۳۵ و تیمار شخم حداقل در شرایط عدم بقایا طی سال دوم آزمایش با ۱۹۷ کیلوگرم انتشار این گاز در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار انتشار دی اکسید کربن را شامل شدند (جدول ۳). در هر دو نوع شخم میزان انتشار این گاز در عدم بقایا به طور معنی داری کمتر از نگهداری بقایا بود (جدول ۳). در شرایط شخم رایج اختلاف بین حضور و عدم حضور بقایا بیشتر از شخم حداقل بود، به عنوان مثال در سال دوم آزمایش در شرایط شخم رایج، اعمال بقایای گیاهی منجر به افزایش ۴۵۳ درصدی میزان انتشار دی اکسید کربن نسبت به شرایط عدم بقایای گیاهی شد، در حالی که در شخم حداقل، حضور بقایای گیاهی میزان انتشار این گاز را حدود ۴۱۹ درصد نسبت به شرایط عدم بقایا افزایش داد (جدول ۳). این وضعیت برای سال اول آزمایش به ترتیب حدود ۳۵۲ و ۳۱۲ درصد به دست آمد. به نظر می رسد تجزیه بیشتر بقایا در شخم رایج نسبت به شخم حداقل می تواند مهم ترین دلیل افزایش اختلاف انتشار بین مدیریت بقایا در دو نوع شخم باشد.

نکته قابل توجه این که میزان انتشار دی اکسید کربن در شرایط عدم بقایا هم در شخم حداقل و هم شخم رایج در سال اول آزمایش بیشتر از سال دوم بود، در حالی که در سال دوم میزان انتشار در شرایط حضور بقایا بیشتر از عدم حضور بقایا در هر دو نوع شخم بود (جدول ۳). یعنی با گذشت زمان در شرایط عدم بقایا انتشار دی اکسید کربن کاهش و در شرایط وجود بقایا افزایش یافت. در شرایط عدم بقایا با

جدول ۳- تأثیر برهمکنش انواع شخم و مدیریت بقایای ذرت بر میزان انتشار گاز دی اکسید کربن (کیلوگرم در هکتار)
Table 3- Interaction effect of tillage and residual management on CO_2 emission ($kg ha^{-1}$)

Treatment تیمار	سال اول First year	سال دوم Second year
بدون بقایا al=No-residu شخم رایج	216b	205b
حضور بقایا With- residual Conventional tillage	978a	1135a
بدون بقایا No-residual شخم حداقل	203b	197b
حضور بقایا With- residual Reduced tillage	839a	1024a

جدول ۴- تأثیر برهمکنش انواع شخم و سطوح نیتروژن بر میزان انتشار گاز دی اکسید کربن (کیلوگرم در هکتار)
Table 4- Interaction effect of tillage types and N levels on CO_2 emission ($kg ha^{-1}$)

نوع شخم Tillage type	کود اوره ($kg ha^{-1}$) Urea ($kg ha^{-1}$)	سال اول First year	سال دوم Second year
	0	432	533
شخم رایج Conventional tillage	150	562	643
	300	656	731
	450	739	772
شخم حداقل Reduced tillage	0	402	465
	150	498	582
	300	566	658
	450	620	737
LSD 5%	-	83.12	76.74

بررسی اثر متقابل شخم، بقایا و کود نیتروژن نشان داد که تیمار سطح کودی ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط حضور بقایای گیاهی در شخم رایج هم در سال اول آزمایش ($1210 \text{ Kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$) و هم در سال دوم ($1302 \text{ Kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$) از بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در هکتار برخوردار بود و تیمار عدم کوددهی در شرایط عدم بقایای گیاهی در شخم حداقل ($177 \text{ Kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$) در سال اول و تیمار سطح صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شرایط عدم بقایای ذرت در شخم رایج ($172 \text{ Kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$) در سال دوم کمترین میزان انتشار را دارا بودند (جدول ۶). به‌طور کلی، از بین تیمارهای مورد بررسی، مدیریت بقایای ذرت بیشترین تأثیر را در انتشار گاز دی‌اکسید کربن شامل شد و انواع شخم و سطوح کود نیتروژن اهمیت کمتری را دارا بودند. تیمارهای شخم رایج، نگهداری بقایا در سطح زمین و سطوح بالای نیتروژن از میزان انتشار دی‌اکسید کربن بیشتری نسبت به شخم حداقل، خروج بقایای گیاهی و سطوح پایین نیتروژن برخوردار بودند (جدول ۶).

مالهی و همکاران (۲۹) با بررسی انواع شخم، مدیریت بقایای گیاهی و کود نیتروژن بر جذب عناصر غذایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 و N_2O گزارش نمودند که نگهداری بقایای گیاهی و کاربرد کود نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار انتشار هر دو گاز گلخانه‌ای شد. ولی بر خلاف انتشار N_2O ، نوع شخم تأثیر معنی‌داری بر انتشار CO_2 نداشت. لیو و همکاران (۲۷) نیز با بررسی تأثیر انواع شخم و منابع نیتروژن بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن گزارش نمودند که میزان انتشار این گاز در سیستم بدون شخم و در شرایط کاربرد نیتروژن به‌طور معنی‌داری بالاتر از سیستم شخم رایج بود.

در بررسی میزان انتشار روزانه دی‌اکسید کربن، مشاهده شد که انتشار دی‌اکسید کربن در هر دو سال آزمایش بیشتر تحت تأثیر بقایای گیاهی قرار گرفت و نوع شخم تأثیر کمتری بر این پارامتر داشت (شکل‌های ۲ و ۳).

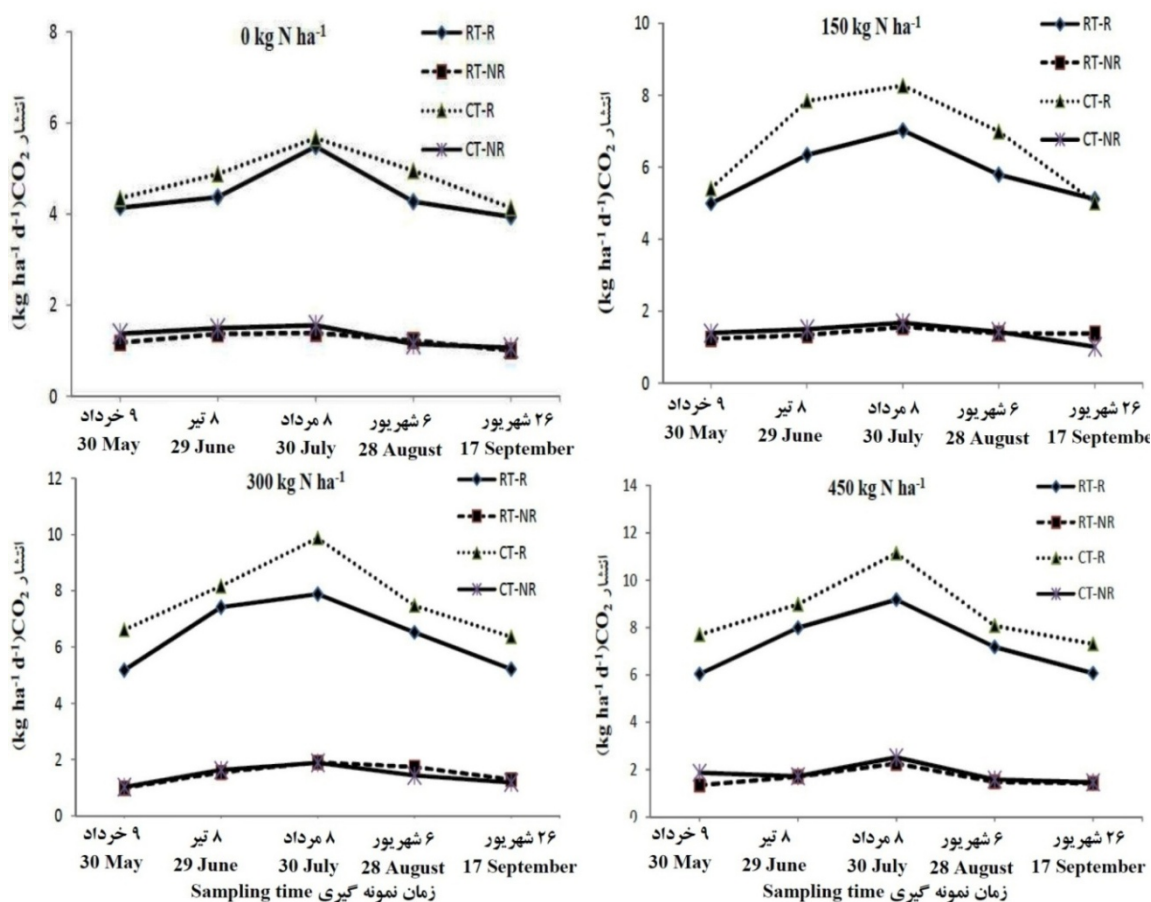
در تأثیر برهمکنش مدیریت بقایای ذرت و سطوح مختلف کود نیتروژن بر انتشار دی‌اکسید کربن مشاهده شد که هم در شرایط حفظ بقایای گیاهی و هم عدم بقایا، میزان انتشار با افزایش سطوح کودی نیتروژن در هر دو سال تحقیق افزایش یافت (جدول ۵). در کلیه سطوح کود نیتروژن، میزان انتشار دی‌اکسید کربن در تیمار حضور بقایای گیاهی به مراتب بیشتر از عدم حضور بقایا بود. در هر دو سال مورد آزمایش میزان شیب افزایش انتشار دی‌اکسید کربن در سطوح بالای کودی کمتر از سطوح پایین بود (جدول ۵). به‌عنوان مثال با افزایش سطح کود از ۱۵۰ به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال اول آزمایش، میزان انتشار دی‌اکسید کربن در شرایط حضور و عدم حضور بقایا حدود ۱۷ درصد و با افزایش سطح کود از ۳۰۰ به ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار حدود ۸ درصد افزایش یافت (جدول ۵). همچنین، با افزایش سطح کود از صفر تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار میزان اختلاف انتشار بین وجود و عدم وجود بقایا با شیب بیشتری نسبت به افزایش سطح کود از ۳۰۰ به ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. این موضوع می‌تواند نشان دهنده این مطلب باشد که اعمال سطح کودی بیشتر از ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نقش زیادی در افزایش فعالیت و جمعیت ریزجانداران خاک ندارد و حتی ممکن است باعث کاهش فعالیت برخی از این موجودات شبیه ازتوباکتر (*Azotobacter sp*) و آزوسپریلیوم (*Azospirillum sp*) که در تثبیت نیتروژن نقش دارند (۳، ۱۹ و ۳۲) گردد. میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در کلیه سطوح کودی در هر دو نوع مدیریت بقایا، در سال اول آزمایش کمتر از سال دوم آزمایش بود (جدول ۵). احمد و همکاران (۱) تأثیر مدیریت شخم و نیتروژن شامل تیمارهای شخم رایج، سیستم بدون شخم، شخم رایج به علاوه کاربرد کود نیتروژن و سیستم بدون شخم به‌علاوه کود نیتروژن را بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 ، CH_4 و N_2O در مزرعه برنج مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که نوع شخم تأثیری بر انتشار این گازها نداشت ولی افزایش کاربرد نیتروژن به‌طور معنی‌داری باعث انتشار بیشتر گازهای مذکور شد.

جدول ۵- تأثیر برهمکنش مدیریت بقایای ذرت و سطوح نیتروژن بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن (کیلوگرم در هکتار)
Table 5- Interaction effect of maize residual management and N levels on CO_2 emission (kg ha^{-1})

مدیریت بقایا Residual management	کود اوره (kg ha^{-1}) Urea (kg ha^{-1})	انتشار CO_2 (kg ha^{-1})	
		سال اول First year	سال دوم Second year
عدم بقایا No- residual	0	182	173
	150	198	187
	300	211	207
	450	248	236
	0	652	825
حضور بقایا With residual	150	862	1038
	300	1011	1182
	450	1112	1273
	LSD (5%)	-	198

جدول ۶- اثر متقابل شخم، بقایا و کود نیتروژن بر انتشار گاز دی اکسید کربن
Table 6- Effect of tillage, residual and fertilizer interaction on CO₂ emission

نوع شخم Tillage type	مدیریت بقایا Residual management	کود اوره (kg ha ⁻¹) Urea (kg ha ⁻¹)	انتشار CO ₂ (kg ha ⁻¹) سال اول First year	سال دوم Second year
شخم رایج Conventional tillage	عدم بقایا No- residual	0	187	172
		150	202	193
		300	208	212
	حضور بقایا With residual	0	268	243
		150	677	895
		300	923	1094
شخم حداقل Reduced tillage	عدم بقایا No- residual	0	177	175
		150	195	182
		300	214	202
	حضور بقایا With residual	0	228	230
		150	627	756
		300	802	986
LSD (5%)	-	450	244	271



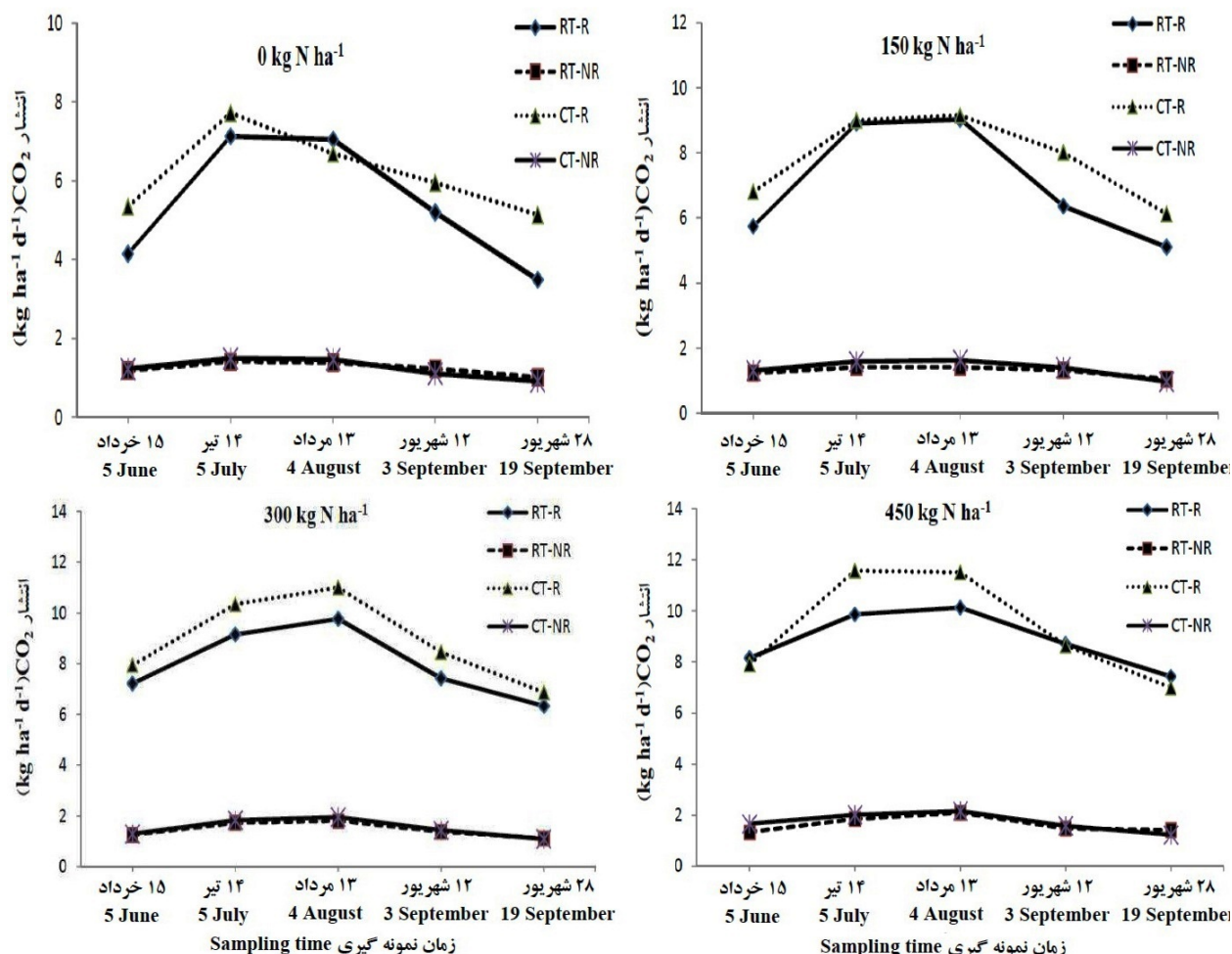
شکل ۲- میزان انتشار روزانه دی اکسید کربن تحت تأثیر انواع شخم، مدیریت بقایا و سطوح مختلف کود اوره در سال اول. CT: شخم رایج، RT: شخم حداقل، R: با بقایا، NR: بدون بقایا

Figure 2- Daily CO₂ emission as affected by tillage, residual and urea levels for first year. CT: conventional tillage, RT: reduced tillage, R: with residual, NR: no-residual

انتشار روزانه دی‌اکسید کربن به ترتیب در نمونه گیری ۲۶ شهریور و ۸ مرداد مشاهده شد (شکل ۲). در بیشتر بودن میزان انتشار روزانه در نمونه‌گیری ۸ مرداد که ۹۰ روز پس از کاشت ذرت می‌باشد، می‌تواند سه دلیل عمده وجود داشته باشد. اول این‌که، این مرحله اوج تولید زیست‌توده هوایی و در نتیجه فعالیت ریشه گیاه ذرت می‌باشد و این موضوع خود منجر به تنفس بیشتر ریشه و ریزموجودات خاک شده است. دوم این‌که، این مرحله حدود ۲۵ روز پس از نوبت دوم کوددهی بوده است، که به‌نظر می‌رسد، وجود نیتروژن در خاک منجر به فعالیت بیشتر ریز جانداران خاک شده باشد و موضوع سوم که شاید از اهمیت بیشتری برخوردار باشد، بالاتر بودن دمای هوا در این مرحله (جدول ۷) نسبت به دیگر مراحل نمونه‌گیری باشد، که به‌نظر می‌رسد همه این عوامل در افزایش انتشار دی‌اکسید کربن نقش داشته باشند.

به‌طوری‌که، بین میزان انتشار روزانه این گاز در تیمارهای حاوی بقایای گیاه ذرت چه در شخم رایج و چه شخم حداقل، اختلاف چشم‌گیری با شرایط عدم بقایای گیاهی در تمام مراحل نمونه‌گیری و در هر دو سال تحقیق وجود داشت. از طرفی، اختلاف بین شخم رایج و حداقل از نظر انتشار روزانه دی‌اکسید کربن در شرایط وجود بقایای گیاهی به مراتب بیشتر از عدم وجود بقایای گیاهی بود (شکل‌های ۲ و ۳). همچنین، با افزایش سطوح نیتروژن از صفر تا ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار میزان روزانه انتشار در تمام مراحل نمونه‌گیری در هر دو سال افزایش یافت (شکل‌های ۲ و ۳).

همان‌طور که در اشکال ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، در کلیه تیمارهای مورد بررسی میزان انتشار دی‌اکسید کربن در ابتدا و انتهای فصل رشد ذرت از شدت کمتری نسبت به اواسط دوره رشد ذرت برخوردار بودند، به‌طوری‌که در سال اول آزمایش، کمترین و بیشترین



شکل ۳- میزان انتشار روزانه دی‌اکسید کربن تحت تأثیر انواع شخم، مدیریت بقایا و سطوح مختلف کود اوره در سال دوم. CT: شخم رایج، RT: شخم حداقل، R: با بقایا، NR: بدون بقایا

Figure 3- Daily CO₂ emission as affected by tillage, residual and urea levels for second year. CT: conventional tillage, RT: reduced tillage, R: with residual, NR: no-residual

مدیریت بقایا بر انتشار گازهای NO و N₂O نشان داد که نگهداری بقایا در سطح خاک به تنهایی باعث کاهش ۳۲ درصدی انتشار گازهای مذکور از خاک شد. همچنین، شخم حداقل به تنهایی باعث افزایش ۷۵ درصدی انتشار N₂O نسبت به شخم رایج گردید، درحالی که انتشار گاز NO را تحت تأثیر قرار نداد.

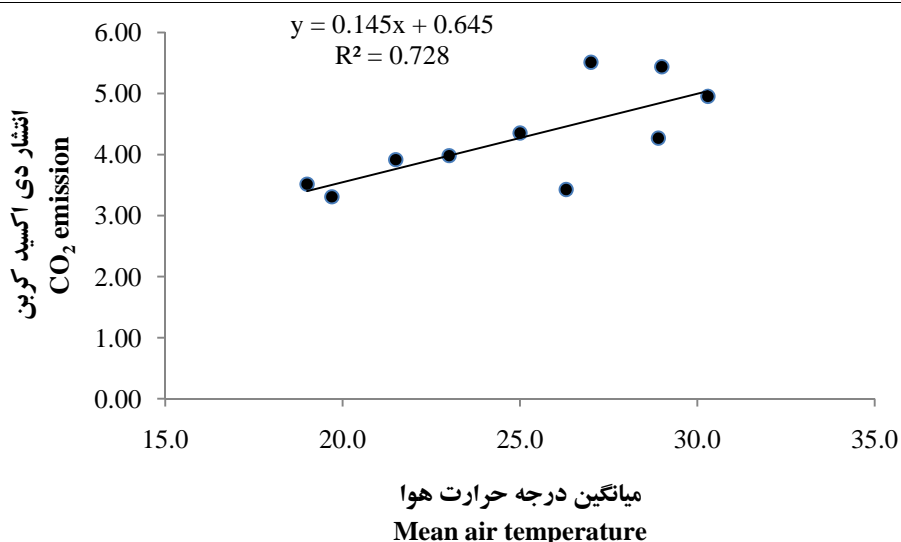
بیشترین انتشار روزانه دی اکسید کربن در سال دوم آزمایش، برای سطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دوره نمونه گیری سوم (۱۳ مرداد) و در سطوح صفر و ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دوره نمونه گیری دوم (۱۴ تیر) مشاهده شد (شکل ۳)، که از این نظر با روند سال اول متفاوت بود (شکل ۲). همان طور که در جدول ۷ نشان داده شده است، در سال دوم بیشترین دمای هوا در طی مراحل نمونه گیری هوا در دوره نمونه گیری دوم (۲۹/۳ درجه سانتی گراد) مشاهده شد. به نظر می رسد بالاتر بودن دما در ۱۳ تیر باعث افزایش شدت انتشار دی اکسید کربن در این تاریخ شده است و این باعث شده است که اختلاف بین دوره نمونه گیری دوم و سوم در سال دوم کمتر از سال اول باشد.

میزان و جهت کلیه فرآیندهای فیزیکی خاک به صورت مستقیم یا غیر مستقیم وابسته به دماست. علاوه بر تبخیر و تعرق، فرآیندهای دیگر نظیر تهویه خاک، جوانه زنی، رشد گیاه، توسعه ریشه ها و فعالیت های میکروبی درون خاک نیز تابع دمای آن هستند (۳۵). همواره بین دمای خاک و دمای هوا رابطه مشخصی بر اساس میزان شاخص سطح برگ گیاه، رطوبت خاک، بافت خاک و میزان مواد آلی خاک وجود دارد (۳۰). در دمای هوای زیر ۱۵ درجه سانتی گراد معمولاً دمای خاک بیشتر از دمای هوا بوده و با افزایش دمای هوا، میزان دمای خاک نسبت به هوا کاهش می یابد (۵۵). پژوهش ها نشان می دهد که با افزایش دمای خاک تا حد خاصی میزان فعالیت ریزجانداران خاک افزایش می یابد (۷). به نظر می رسد این موضوع برای شرایط آزمایشی ما نیز صادق بوده است و افزایش دمای هوا منجر به فعالیت و تنفس بیشتر ریزجانداران خاک و افزایش شدت خروج دی اکسید کربن شده است. در سال اول آزمایش، بیشترین اختلاف بین شخم رایج و حداقل در شرایط حضور بقایای گیاهی در سطح کودی ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد (شکل ۲). نتایج مطالعه یو و همکاران (۵۴) در بررسی تاثیر انواع شخم و

جدول ۷- میزان میانگین روزانه دما (درجه سانتی گراد) در زمان نمونه گیری در هر دو سال مورد آزمایش

Table 7-Average of daily temperature (° C) for sampling time in two experiment year

۱۳۹۰	۹ خرداد	۸ تیر	۸ مرداد	۶ شهریور	۲۶ شهریور
2011	30 May	29 June	30 July	28 August	17 September
	26.3	28.9	30.3	21.5	19.7
۱۳۹۱	۱۵ خرداد	۱۴ تیر	۱۳ مرداد	۱۲ شهریور	۲۸ شهریور
2012	5 June	5 July	4 August	3 September	19 September
	23.1	29.3	27.2	25.0	19.1



شکل ۴- رابطه بین درجه حرارت (درجه سانتی گراد) و میزان انتشار دی اکسید کربن (کیلوگرم در هکتار در روز)

Table 4- Relation of air temperature (° C) and CO₂ emission (kg ha⁻¹ day⁻¹)

سطوح مختلف کود نیتروژن. شخم رایج در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب باعث افزایش حدود ۱۵ و ۱۰ درصدی میزان انتشار این گاز نسبت به شخم حداقل شد. میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در شرایط نگهداری بقایای ذرت در سطح زمین در سال اول حدود ۳۳۴ درصد و در سال دوم حدود ۴۳۷ درصد بیشتر از شرایط عدم وجود بقایای ذرت بود. همچنین، با افزایش سطوح کود نیتروژن مصرفی، میزان انتشار این گاز نیز افزایش یافت. نگهداری بقایای گیاهی با این که منجر به افزایش چشم‌گیر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن شد، ولی میزان بیلان کربن در این شرایط مثبت بود. این موضوع علاوه بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک، می‌تواند در کاهش مصرف کود شیمیایی نیتروژن و در نتیجه کاهش انتشار اکسید نیتروژن که نقش بسزایی در پتانسیل گرمایش جهانی دارد، مفید باشد.

سپاسگزاری

هزینه این پژوهش توسط معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

به‌عبارتی، به‌نظر می‌رسد تأثیر افزایش دمای هوا بر انتشار دی‌اکسید کربن بیشتر از اعمال کود نیتروژن در مرحله دوم به بعد بوده است. وست و مارلند (۵۳) گزارش نموده‌اند که افزایش دمای هوا و در نتیجه خاک، یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. نتایج رگرسیون خطی بین درجه حرارت هوا و میانگین انتشار روزانه دی‌اکسید کربن نشان داد که به ازای هر درجه سانتی‌گراد افزایش دمای هوا، میزان انتشار روزانه دی‌اکسیدکربن از خاک به اتمسفر حدود ۰/۱۴۵ کیلوگرم در هکتار افزایش خواهد یافت (شکل ۴). این موضوع از طرفی دلیل افزایش میزان انتشار در مرحله دوم برای سال دوم را تفسیر می‌نماید و از طرف دیگر، کشت و کار ذرت در مشهد در آینده با افزایش دمای هوا مواجه خواهد بود (۳۱) و بنابراین، باید تمهیدات لازم هم برای تولید ذرت و هم جلوگیری از انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای در آینده تغییر اقلیم سنجیده و مورد استفاده قرار گیرد. چون افزایش دما علاوه بر کاهش تولید ذرت (۳۱) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را نیز افزایش خواهد داد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن بیشتر متاثر از تیمار مدیریت بقایای گیاهی است تا انواع شخم و

منابع

- Ahmad S., Li C., Dai G., Zhan M., Wang J., Pan Sh., Cao C. 2009. Greenhouse gas emission from direct seeding paddy field under different rice tillage systems in central China. *Soil & Tillage Research*, 106: 54–61.
- Anonymous. 1986. Procedure for soil analysis. International Soil Reference and Information Center (ISRIC). Wageningen Agriculture University.
- Astarai A.R., and Koocheki A. 1996. Application of bio-fertilizer in sustainable agriculture. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran. 212 pp. (in Persian).
- Balestrasse K.B., Benavides M.P., Gallego S.M., and Tomara M.L. 2003. Effects of cadmium stress on nitrogen metabolism in nodules and roots of soybean plants. *Func. Plant. Biol.*, 30: 57-64.
- Ball B.C., Scott A., and Parker J.P. 1999. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil and Tillage Research*, 53: 29–39.
- Berner A., Hildermann I., Fließbach A., Pfiffner L., Niggli U., and Mäder P. 2009. Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil and Tillage Research*, 101: 89-96.
- Carbonell-Bojollo R., González-Sánchez E.J., Veróz-González O., and Ordóñez-Fernández R. 2011. Soil management systems and short term CO₂ emissions in a clayey soil in southern Spain. *Science of the Total Environment*, 409: 2929–2935.
- Chatskikh D., Jørgen E., Olesen E.M., Hansen L.E., and Petersen B.M. 2008. Effects of reduced tillage on net greenhouse gas fluxes from loamy sand soil under winter crops in Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128: 117–126.
- Choudhary M.A., Akramkhanov A., and Saggar S. 2001. Nitrous oxide emission in soils cropped with maize under long-term tillage and under permanent pasture in New Zealand. *Soil & Tillage Research*, 62: 61-71.
- Falloon P., and Betts R. 2010. Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation-The importance of an integrated approach. *Science Total Environment*, 408: 5667–5687.
- Franzuebbers A.J., Langdale G.W., and Schomberg H.H. 1999. Soil carbon, nitrogen, and aggregation in response to type and frequency of tillage. *Soil Science and Social American Journal*, 63: 349–355.
- Gentile R., Vanlauwe B., Kavoo A., Chivenge P., and Six J. 2010. Residue quality and N fertilizer do not influence aggregate stabilization of C and N in two tropical soils with contrasting texture. *Nutrient Cycling in*

- Agroecosystems, 88: 121-131.
- 13- 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.
 - 14- Hayhoe H.N., Dwyer L.M., Stewart D.W., White R.P., and Culley J.L.B. 1996. Tillage, hybrid and thermal factors in corn establishment in cool soils. *Soil and Tillage Research*, 40: 39-54.
 - 15- Huang Y., Zoub J., Zheng X., Wang Y., and Xu X. 2004. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios. *Soil Biology & Biochemistry*, 36: 973-981.
 - 16- 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.
 - 17- Jocko M., Gebbers R., Barkusky D., Rogasik J., Hohn W., Hierold W., Fox C., and Timmer J. 2009. Location-dependency of earthworm response to reduced tillage on sandy soil. *Soil & Tillage Research*, 102, 55-66.
 - 18- Johnson M.D., and Lowery B. 1985. Effect of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. *Soil Science Society of America Journal*, 49: 1547-1552.
 - 19- Kolb W., and Martin P. 1988. Influence of nitrogen on the number of N₂-fixation and total bacteria in the rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry*, 20: 221-225.
 - 20- Koocheki A., and Hosseini M. 2006. *Climate change and global crop production*. Ferdowsi University of Mashhad Press, Masshad, Iran. 314 pp. (in Persian).
 - 21- Koocheki A., and Kamali Gh.H. 2010. *Climate change and dryland wheat production in Iran*. Iranian Field Crop Research. 8: 508-502. (in Persian).
 - 22- Kuo S., Sainju U.M., and Jellum E.J. 1997. Winter cover cropping influence on nitrogen in soil. *Soil Science Social American Journal*, 61:1392-1399.
 - 23- La Scala N.J., Bolonhezi D., and Pereira G.T. 2006. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 91: 244-248.
 - 24- Lal R. 2004. Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environment Management*, 33: 528-544.
 - 25- Lapen D.R., Topp G., Gregorich E., and Curnoe E. 2004. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada *Soil and Tillage Research*, 78:151-170.
 - 26- Liu X.J., Mosier A.R., Halvorson A.D., and Zhang F.S. 2005. Tillage and nitrogen application effects on nitrous and nitric oxide emissions from irrigated corn fields. *Plant Soil*, 276: 235-249.
 - 27- Liu X.J., Mosier R., Halvorson A.D., Curtis B., Reule A., and Zhang F.S. 2007. Dinitrogen and N₂O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. *Soil Biology & Biochemistry*, 39: 2362-2370.
 - 28- López-Fando C., and Pardo M.T. 2009. Changes in soil chemical characteristics with different tillage practices in a semi-arid environment. *Soil and Tillage Research*, 104: 278-284.
 - 29- Malhi S.S., Lemke R., Wang Z.H., Baldev S., and Chhabra M. 2006. Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions. *Soil & Tillage Research*, 90: 171-183.
 - 30- McMaster G.S., and Wilhelm W.W. 1998. Is Soil Temperature Better than Air Temperature for Predicting Winter Wheat Phenology? *Agronomy Journal*, 90: 602-607.
 - 31- Moradi R., Koocheki A., Nassiri Mahallati M., Mansoori H. 2013. Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: irrigation and planting date management. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 18: 265-284.
 - 32- Moradi R. 2009. Effect of biological and organic fertilizers on yield, yield component and quality and quantity of essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). MSc thesis of Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Press, Masshad, Iran
 - 33- Motha R.P., and Baier W. 2005. Impact of present and future climate change and climate variability on agriculture in the temoerate regions: North America. *Climatic Change*, 70: 137-164.
 - 34- Mutegi J.K., Lars J., Petersen B.M., Hansen E.M., and Petersen S.O. 2010. Nitrous oxide emissions and controls as influenced by tillage and crop residue management strategy. *Soil Biology & Biochemistry*, 42:1701-1711.
 - 35- Najafi M., Alizade H., Mohammadian A., and Musavi A. 2008. Assessing correlation of soil and air temperature and estimating glacial depth. *Journal of Soil and Water*, 22: 456-466. (in Persian)
 - 36- Ogle S.M., Breidt F.J., and Paustian K. 2005. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochem*, 72: 87-121.
 - 37- Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. PP. 403- 431. In: A. L. Page (Ed) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Agron. Mongor. 9. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin.
 - 38- Omonode R.A., Vyn T.J., Smith D.R., Hegymegi A., and Gal P.A. 2007. Soil carbon dioxide and methane fluxes from long-term tillage systems in continuous corn and corn-soybean rotations. *Soil & Tillage Research*, 95: 182-195.
 - 39- Ozkan B., and Akcaoz H. 2002. Impacts of climate factors on yields for selected crops in Turkey. *Mitigation and Adaptation Strategy for Global Change*, 7: 367-380.
 - 40- Paustian K., Andren O., Janzen H.H., Lal R., Smith P., Tian G., Tiessen H., Van Noordwijk M., and Woormer P.L.

1997. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use Management*, 13: 230–244.
- 41- Pelster D.E., Larouche F., Rochette P., Chantigny M.H., Allaire S., and Angers A. 2011. Nitrogen fertilization but not soil tillage affects nitrous oxide emissions from a clay soil under a maize–soybean rotation. *Soil & Tillage Research*, 115–116: 16–26.
- 42- Powlson D.S., Christian D.G., Falloon P., and Smith P. 2001. Biofuel crops: their potential contribution to decreased fossil carbon emissions and additional environmental benefits. *Aspects Applied Biology*, 65: 289–94.
- 43- Regina K., and Alakukku L. 2009. Greenhouse gas fluxes in varying soils types under conventional and no-tillage practices. *Soil & Tillage Research*, 109: 144–152.
- 44- Reicosky D.C., and Archer D.W. 2007. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil & Tillage Research*, 94: 109–121.
- 45- Rosenzweig C., and Tubiello F.N. 2007. Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitigation and Adaptation Strategy for Global Change*, 12: 855–873.
- 46- Sainju U.M., Zachary N., Nyakatawa E.Z., Tazisong I.A., and Reddy K.C. 2008. Soil carbon and nitrogen sequestration as affected by long-term tillage, cropping systems, and nitrogen fertilizer sources. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127: 234–240.
- 47- Salinger M.J. 2005. Climate variability and change: past, present and future- an overview. *Climate Change*, 70: 9–29.
- 48- Shiferaw B.A., Okello J., and Reddy R.V. 2009. Adoption and adaptation of natural resource management innovations in smallholder agriculture: reflections on key lessons and best practices. *Environment Develop Sustainable*, 11: 601–619.
- 49- Skiba U., Van Dijk S., and Ball B.C. 2002. The influence of tillage on NO and N₂O fluxes under spring and winter barley. *Soil Use Management*, 18: 340–345.
- 50- Tan Z., and Lal R. 2005. Carbon sequestration potential estimates with changes in land use and tillage practice in Ohio, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 111: 140–152.
- 51- Trinsoutrot I., Recous S., Bentz B., Linères M., Chèneby D., and Nicolardot B. 2000. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 918–926.
- 52- 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.
- 53- West T.O., and Marland G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 91: 217–232.
- 54- 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 & Biochemistry*, 41: 2131–2140.
- 55- Zheng D., Hunt E.R., and Running S.W. 1993. A daily soil temperature model based on air temperature and precipitation for continental applications. *Climate Research*, 2: 183–191.



Evaluation of Tillage, Residue Management and Nitrogen Fertilizer Effects on CO₂ Emission in Maize (*Zea Mays* L.) Cultivation

R. Moradi^{1*}- A. Koocheki²- M. Nassiri Mahallati³ – H. Mansoori⁴

Received:01-12-2014

Accepted:13-06-2015

Introduction: The latest report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) states that future emissions of greenhouse gases (GHGs) will continue to increase and cause climatic change (16). These conditions are also true for Iran. The three greenhouse gases associated with agriculture are carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O). The three GHGs associated with agriculture CO₂, CH₄, and N₂O differ in their effectiveness in trapping heat and in their turnover rates in the atmosphere. This environmental change will have serious impacts on different growth and development processes of crops. Increasing temperature could affect physiological processes such as photosynthesis, respiration and partitioning of photoassimilates. Farmers are not able to change or manage the climatic conditions, but some factors such as soil, water, seed and agricultural practices can be managed to reduce the adverse impacts of climate change (32). Mitigation and adaptation are two known ways for reducing the negative impacts of climate change. Mitigation strategies are associated with decreasing greenhouse gas (GHG) emissions through management practices such as reducing chemical fertilizer application, mechanization, increasing carbon storage in agroecosystems, planting biofuel crops and moving towards organic farming (42), etc.

Materials and Methods: This study was carried out at the experimental field of the Ferdowsi University of Mashhad in 2011 and was repeated in 2012. The Research Station (36°16'N, 59°36'E) is located at about 985 m a.s.l. Average temperature and precipitation rate of the research station in two years are shown in Figure. 1. The three-factor experiment was set up in a strip-split-plot arranged in a randomized complete block design with three replications. The experimental treatments were tillage systems (conventional and reduced tillage) and residual management (remaining and leaving of maize residual) assigned to main plots and different levels of N fertilizer (0, 150, 300 and 450 kg urea ha⁻¹) was randomized as a subplot in tillage treatment. The seedbed preparation was made based on common practices at the location. Plot size under the trial was 4 m × 3 m so as to get 70 cm inter row spacing. Maize seeds (single-cross 704 cultivar) were hand sown in May for two years. The ideal density of the crops was considered as spacing 20 cm inter plant. As soon as the seeds were sown, irrigation continued every 10 days. No herbicides or chemical fertilizers were applied during the course of the trials and weeding was done manually when necessary. Measurement of CO₂ emissions was performed by the closed chamber method. For this purpose, PVC plastic rings (20 cm in diameter and 30 cm height) were scattered on each of the plots. The chambers were placed in soil for two hours and the gathered air was collected by 10 ml vacuum syringe. Then, the samples were transferred to the laboratory and CO₂ was measured using GC-mass.

Results and Discussion: The results showed that CO₂ emissions for conventional tillage was about 15 and 10% higher than the reduced tillage in 2011 and 2012, respectively. The CO₂ emissions can be taken as indicators of soil tillage effects on the soil ecosystem, because CO₂ emissions are closely connected to the microbial turnover and the physical accessibility of organic matter to microbes. These parameters were more available in the conventional tillage than the reduced tillage. CO₂ emissions were strongly higher in the remaining residual condition rather than leaving condition in two years. CO₂ emissions in the remaining residual condition was about 4.36 and 5.37 times higher than that of the leaving residual condition in 2011 and 2012, respectively. The microbial respiration and humidity of soil in the remaining residual condition is higher than that of the leaving residual condition. CO₂ emission was elevated with increasing the rate of N fertilizer. The N fertilizer can increase the microbial activity of the soil. Cover cropping and N fertilization can increase CO₂ emissions in full and reduced tilled soils by increasing the amount of crop residue returned to the soil. The results showed that CO₂ emissions in 2011 were higher than 2012 in all treatments. The residual treatment had more effect on daily CO₂ emission in comparison with tillage and N fertilizer treatments in both years. The trait

1- Assistant Professor, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman

(*-Corresponding Author Email: roholla18@gmail.com)

2,3,4- Professors and PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively

was higher under conventional tillage, residue remaining and higher N fertilizer levels compared to reduced tillage, residue leaving and lower N fertilizer application. Linear regression for air temperature and mean CO₂ emission illustrated that there was a positive correlation between air temperature and CO₂ emission.

Conclusion: In essence, the results showed that CO₂ emissions for conventional tillage were higher than that of reduced tillage in two years. Remaining residual condition had strongly higher CO₂ emission rather than leaving condition. CO₂ emission was elevated with increasing the rate of N fertilizer.

Keywords: Climate change, Closed chamber, GHG, Mitigation, Plough