

تأثیر خاک‌ورزی، مدیریت بقایا و کود نیتروژن بر بیلان کربن و پتانسیل گرمایش جهانی در کشت ذرت

روح الله مرادی^{1*}، علیرضا کوچکی²، مهدی نصیری محلاتی²، حامد منصوری³

تاریخ دریافت: 92/11/26 تاریخ پذیرش: 93/12/20

1- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان

2- اساتید گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

3- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه فردوسی مشهد

مسئول مکاتبه: E-Mail: r.moradi@uk.ac.ir

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی بیلان کربن و پتانسیل گرمایش جهانی تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی، مدیریت بقایای ذرت و سطوح کود نیتروژن انجام شد. بدین منظور، آزمایشی دو ساله (1390 و 1391) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی مشهد بصورت اسپلیت پلات نواری بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در 3 تکرار اجرا شد. فاکتورهای اصلی شامل انواع خاک‌ورزی (1- خاک‌ورزی رایج و 2- خاک‌ورزی حداقل) و مدیریت بقایای ذرت (1- حفظ بقایای گیاهی محصول سال قبل و 2- عدم وجود بقایای گیاهی) که عمود بر هم اجرا شدند و فاکتور فرعی شامل سطوح مختلف کاربرد کود اوره (صفر، 150، 300 و 450 کیلوگرم در هکتار) که در داخل شخم اسپلیت گردید، بودند. نتایج نشان داد که ترسیب کربن تحت تأثیر مدیریت بقایا در هر دو سال و اثر متقابل بقایا و کود در سال دوم قرار گرفت. اضافه کردن بقایا به خاک سبب افزایش 48 درصدی ترسیب کربن در سال اول و 69 درصدی در سال دوم نسبت به شرایط عدم وجود بقایا گردید. از بین تیمارهای مورد بررسی، مدیریت بقایا بیشترین تأثیر را بر بیلان کربن دارا بود. بطوریکه، در شرایط حضور بقایای ذرت بیلان کربن مثبت و در شرایط عدم وجود بقایا این شاخص منفی بود. میزان پتانسیل گرمایش جهانی تحت تأثیر خاک‌ورزی رایج، وجود بقایای گیاهی و سطوح بالای مصرف اوره، بالاتر از خاک‌ورزی حداقل، عدم حضور بقایا و سطوح پایین کودی بود.

واژه‌های کلیدی: انتشار گاز گلخانه‌ای، ترسیب کربن، خاک‌ورزی کاهش یافته، کشاورزی حفاظتی

Effect of Tillage, Residue Management and Nitrogen Fertilizer on Carbon Balance and Global Warming Potential in Maize Cultivation

Rooholla Moradi^{1*}, Alireza Koocheki², Mehdi Nassiri Mahallati², Hamed Mansoori³

Received: February 15, 2014 Accepted: March 11, 2015

1 Assoc. Prof., Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

2 Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

3 PhD Student of Crop Ecology, Dept. of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

*Corresponding Author: r.moradi@uk.ac.ir

Abstract

This experiment was performed to evaluate the carbon (C) balance and global warming potential (GWP) as affected by tillage methods, maize residual management and nitrogen levels. For this purpose, a field experiment was conducted as row split-plot arrangement based on randomized complete block design with three replications in Ferdowsi University of Mashhad, Iran in 2011 and 2012. 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 urea fertilizer (0, 150, 300 and 450 kg.ha⁻¹) was randomized as subplot in tillage treatment. The results showed that carbon sequestration was affected by residual treatment in both years and residual management × N fertilizer interaction in second year. Addition of residual in soil was caused to increasing 48% and 69% of C sequestration in first and second years, respectively. Across the treatments, residual management had the highest effect on C balance. So, C balance was positive in remaining maize residual and that was negative in leaving condition. GWP was higher under conventional tillage, residue remaining and higher N fertilizer levels in comparison with reduced tillage, residue leaving and lower N fertilizer application.

Keywords: C sequestration, Conservation Agriculture, GHG Emission, Reduced Tillage

رهاسازی گازهای گلخانه‌ای به جو دخالت دارد (IPCC 2001). در این بین، حدود 60 درصد از انتشار جهانی اکسید نیتروژن، 39 درصد از انتشار جهانی متان و یک درصد از انتشار جهانی دی اکسید نیتروژن و در نتیجه پتانسیل گرمایش جهانی¹ مربوط به بخش کشاورزی می‌باشد.

مقدمه

سهم کشاورزی در پدیده تغییر اقلیم حدود 13/5 درصد می باشد که از طریق فعالیت‌هایی از قبیل حذف جنگل‌ها، تغییر خاک‌های بکر به زمین‌های زراعی، کشت و کار برنج غرقابی، تولید نیشکر، سوزاندن بقایای گیاهان زراعی، پرورش نشخوارکنندگان، استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژن، شخم فشرده و غیره در

1-Global Warming Potential

همکاران 1390). همچنین، بقایای گیاهی می‌توانند با جذب کربن آلی و کاهش خروج دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای دیگر در متعادل نمودن اقلیم جهانی نیز نقش داشته باشند (صالحی و همکاران 1390؛ ساین و همکاران 2003).

در اکوسیستم‌های زراعی، برآورد بیلان² کربن که نشان دهنده نسبت کربن ورودی به خاک (ترسیب) و انتشار یافته به جو می‌باشد (اسمیت 2004)، یکی از راهکارهای اساسی برای درک این موضوع است که آیا یک اکوسیستم زراعی در منطقه‌ای مشخص، منبع دی-اکسید کربن می‌باشد (توئین و کوچاریک 2009). عملیات کشاورزی با تجزیه ماده آلی حاصل از بقایای گیاهان زراعی منجر به تغییر در ورود و خروج جریان دی-اکسیدکربن از خاک می‌شود. تولید دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید کربن بوسیله فعالیت‌های میکروبی خاک، از طریق اقلیم خاک (دما و محتوی رطوبتی)، تغذیه و عوامل بیولوژیکی قابل کنترل می‌باشد (اسمیت 2004). افزایش ترسیب کربن³ (کربن وارد شده به خاک) باعث بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و در نتیجه جلوگیری از فرسایش آبی و بادی می‌شود. به همین دلیل ترسیب کربن علاوه بر دارا بودن ارزش‌های حفاظتی، به دلیل افزایش تولید زیست‌توده، از نظر اقتصادی نیز دارای ارزش است و می‌تواند به-عنوان منفعت و سود اضافی حاصل از فعالیت عملیات ترسیب کربن لحاظ شود (عبدی و همکاران 2009). سیستم‌های بدون شخم و شخم کاهش یافته، کشت و کار گیاهان چند ساله، کاشت گیاهان دارای ریشه عمیق، استفاده از نهاده‌های آلی کود دامی و کمپوست، نگهداری کاه و کلش محصولات زراعی در سطح خاک، تناوب و مدیریت ارگانیک به‌عنوان مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی بهبود ترسیب کربن در بخش کشاورزی مورد توجه قرار گرفته‌اند (اسمیت و همکاران 2000). بعنوان

نظام‌های خاک ورزی شدید برای نیل به حداکثر عملکرد، منجر به کاهش چشمگیر در مواد آلی خاک، فعالیت‌های آنزیمی و در نهایت، کیفیت خاک می‌شوند (بایر و همکاران 2001؛ مرابت 2002). علاوه بر این، بقایای گیاهی می‌تواند سبب کاهش تغییر اقلیم جهانی از طریق جدا کردن محتویات کربن آلی خاک و جبران انتشار دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای شود (ویلهم و ورتمن 2004). سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌توانند بخش مهمی از سامانه کشاورزی پایدار باشند که منافی را در رابطه با نیروی کارگری و مصرف سوخت برای کشاورزان فراهم می‌کنند (علیجانی و همکاران 1390). هدف اصلی از اجرای سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی، نگهداری مقادیر کافی بقایا در سطح خاک جهت کنترل فرسایش آبی و بادی، کاهش مصرف انرژی و حفاظت از آب و خاک است (وست و مورلن 2002).

اکثر کشاورزان ایران، بقایای گیاهی که منبع اصلی تأمین کربن تازه برای تولید بیوماس میکروبی، افزایش جمعیت انواع کرم‌های خاکی و بهبود حاصلخیزی خاک هستند را از مزرعه بیرون برده و باقی‌مانده آن را می‌سوزانند و یا به‌عنوان چرای دام از آن استفاده می‌کنند (اسدی و همکاران 1390). این روش مدیریت بقایای گیاهی (سوزاندن) اگر چه روشی راحت، سریع و مؤثر در مبارزه با علف‌های هرز و همچنین با اعمال خاک‌ورزی مرسوم، تأمین کننده تماس کافی بین بذر و خاک است ولی به مرور باعث کاهش حاصلخیزی خاک و آلودگی‌های زیست محیطی از قبیل انتشار گازی دی‌اکسید کربن در این مناطق شده است. بقایای گیاهی می‌توانند با جایگزینی یا فراهم کردن عناصر غذایی در خاک، سبب حفظ قدرت باروری خاک، افزایش غلظت ماده آلی خاک، حفظ آب در خاک، کاهش تبخیر، تحریک فعالیت‌های میکروبی، افزایش دانه‌بندی، کاهش نوسانات دمایی، بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک و بهبود قدرت شخم‌پذیری خاک شوند (صالحی و

2-Balance

3-Carbon Sequestration

ذرت در دو سال آزمایش در شکل 1 نشان داده شده است. آزمایش بصورت اسپلیت پلات نواری بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در 3 تکرار اجرا شد. فاکتورهای اصلی شامل خاک‌ورزی در دو سطح (1- خاک‌ورزی متر، لولر، دیسک و فاورتر بود و 2- خاک‌ورزی حداقل که فقط زمین دیسک و فاورتر خورد و کشت انجام شد) و بقایای گیاهی نیز در دو سطح (1- حفظ کل بقایای گیاهی محصول سال قبل و 2- عدم وجود بقایای گیاهی) بودند که شخم عمود بر بقایا اجرا گردید. فاکتور فرعی شامل کود نیتروژن در 4 سطح (صفر، 150، 300 و 450 کیلوگرم کود اوره 46%) بود که در داخل شخم اسپلیت گردید.

برای اعمال تیمار بقایای گیاهی در سال اول آزمایش، بقایای یک مزرعه ذرت با رقم سینگل کراس 704 در پاییز سال 1389، که مقدار بقایای آن 6200 کیلوگرم در هکتار توزین شد، به زمین اضافه گردید و با دیسک خرد شد. تیمار عدم بقایا نیز با فاصله 10 متر از تیمار حضور بقایای گیاهی در نظر گرفته شد. تیمار خاک‌ورزی رایج و حداقل عمود بر بقایای گیاهی اعمال شد. قبل از کاشت از خاک محل آزمایش نمونه‌های تصادفی از عمق 30 سانتی متری خاک به صورت جداگانه برای تیمارهای بقایای گیاهی انتخاب شده و برای اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول 1 نشان داده شده است.

مثال شیفر و همکاران (2009) گرایش به سمت عملیات کشاورزی ارگانیک را یکی از مهمترین راهکارهای کاهش انتشار دی اکسید کربن به جو و ترسیب آن به خاک اشاره نمودند. از طرفی، دندوون و همکاران (2012)، میزان ترسیب کربن و انتشار گازهای گلخانه‌ای را در شرایط زراعت رایج ذرت (شخم عمیق، تک کشتی و خارج کردن بقایا از مزرعه) با عملیات حفاظتی (شخم حداقل، تناوب زراعی و حفظ بقایا در زمین) مقایسه نمودند. آن‌ها گزارش کردند که میزان مواد آلی خاک و ترسیب کربن در کشاورزی حفاظتی (117 مگاتن کربن در هکتار) بیشتر از کشاورزی رایج (69/7 مگاتن کربن در هکتار) بود.

هدف از این تحقیق بررسی بیلان کربن خاک و همچنین پتانسیل گرمایش جهانی تحت تأثیر مدیریت خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و سطوح مختلف کود اوره در کشت ذرت بود.

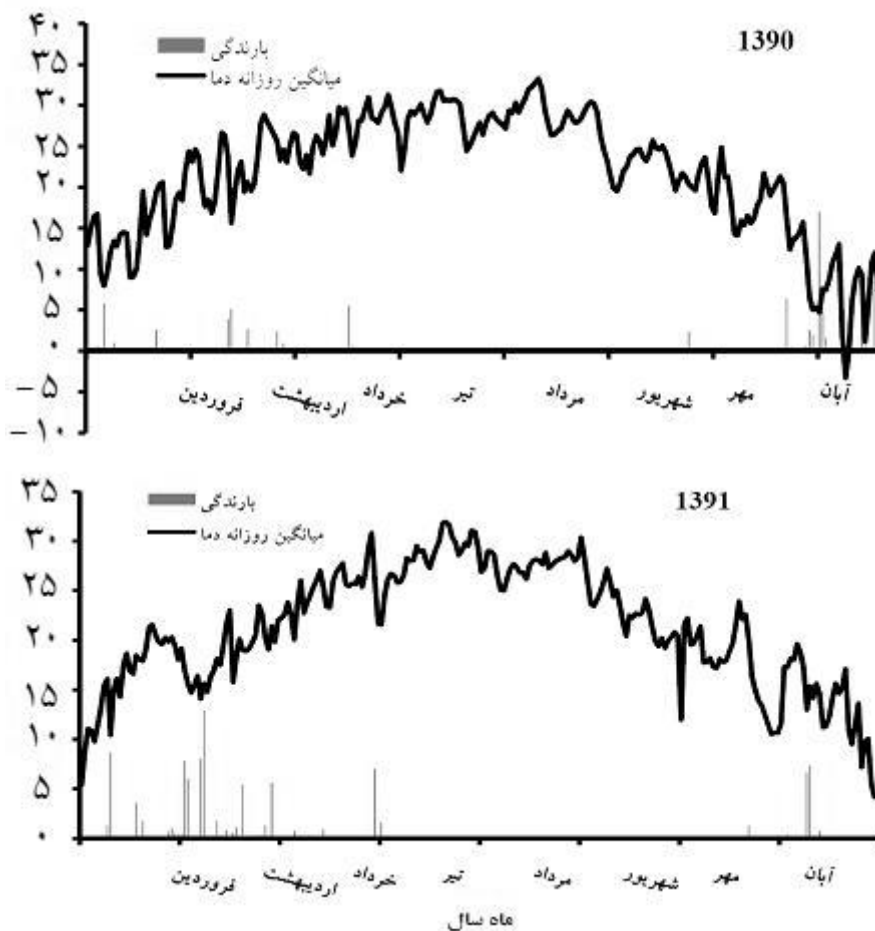
مواد و روش‌ها

تیمارهای مورد بررسی

بدین منظور، مطالعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در 10 کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی 36 درجه و 16 درجه شمالی و طول جغرافیایی 59 درجه و 36 دقیقه شرقی و ارتفاع 985 متری از سطح دریا در طی دو سال زراعی 89-90 و 90-91 اجرا شد. تغییرات بارندگی و درجه حرارت این منطقه در طول فصل رشد

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

بافت خاک	نیتروژن (%)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	EC (دسی زیمنس بر متر)	pH	درصد ماده آلی
لوم رسی	0/079	13/6	375	3/36	7/49	0/47



شکل 1- میانگین دمای روزانه (°C) و بارندگی (mm) طی فصل رشد زرت برای مشهد در سال‌های مورد بررسی

عملیات کاشت

کیلوگرم کود فسفر (سوپرفسفات تریپل) نیز در قبل از کاشت به زمین اضافه گردید. در سال دوم آزمایش کاشت در تاریخ 20 اردیبهشت 1391 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 10 روز یکبار تا آخر فصل رشد به روش نشتی و توسط سیفون انجام شد. سبز شدن اولیه گیاه 5 روز پس از کاشت صورت گرفت. در مرحله چهار برگی، برای حصول تراکم

کاشت در سال اول آزمایش در تاریخ 10 اردیبهشت سال 1390 و در سال دوم آزمایش در تاریخ 20 اردیبهشت 1391 انجام گرفت. جهت کاشت زرت (رقم سینگل کراس 704)، پس از تهیه زمین بر اساس تیمارهای مورد بررسی، با استفاده از فاروئر جوی و پشته‌هایی به عمق 20 سانتی‌متر و فاصله بین دو ردیف 70 سانتی‌متر آماده شد. بذور بصورت دستی با فاصله 5 سانتی‌متر و در عمق یکسان روی پشته‌ها کشت شد. نیمی از کود مورد استفاده بر اساس مقادیر تیمارهای مورد آزمایش قبل از کاشت بصورت دست‌پاش به زمین اضافه و با خاک مخلوط گردید. نیم دیگر نیز در مرحله گلدهی زرت به خاک اضافه شد. مقدار 150

اندازه گیری میزان کربن به آزمایشگاه منتقل شد. خصوصیات بقایای ذرت برگشتی به خاک در تیمارهای مختلف مورد بررسی در جدول 2 نشان داده شده است. جهت محاسبه میزان ترسیب کربن، میزان کربن موجود در خاک و میزان کربن موجود در بقایای برگشتی مورد توجه قرار گرفت. در تیمار حضور بقایا، کل میزان کربن موجود در بقایا در هر تیمار به عنوان کربن برگشتی به خاک در نظر گرفته شد. در شرایط عدم بقایا، میزان کربن برگشتی به خاک صفر در نظر گرفته شد. البته باید خاطر نشان شود که میزان ترسیب کربن باید بعد از تجزیه کامل گیاه مورد ارزیابی قرار گیرد (بولیندر و همکاران 2007) ولی در این آزمایش شرایط تجزیه مورد توجه قرار داده نشد و علاوه بر کربن موجود در خاک، کربن موجود در بقایای برگشتی در پایان هر فصل رشد ملاک قرار داده شد.

مناسب، مزرعه طی دو نوبت تنک شد، بطوریکه که در نهایت به فاصله 20 سانتی متر روی نوار یک گیاه باقی ماند. مبارزه با علف هرز توسط وجین دستی در 4 نوبت انجام گرفت. ضمناً در طول دوره رشد، گیاه با هیچ گونه آفت و بیماری روبرو نشد. در هر دو سال آزمایش، نصف باقیمانده کود مصرفی در روز 65 ام (اواسط مرحله گلدهی) به خاک اضافه گردید.

محاسبه میزان ترسیب کربن در خاک

میزان ترسیب کربن خاک بر اساس مجموع میزان کربن موجود در خاک و وزن کربن بقایای برگشتی به خاک محاسبه شد. بدین منظور، در هر دو سال زراعی، قبل از شروع آزمایش نمونه خاک از تیمار بقایا و عدم بقایا و همچنین در انتهای فصل رشد نمونه خاک از تیمارهای مختلف مورد بررسی (از وسط هر کرت) از عمق 0-30 سانتی متر گرفته شد و نمونه خاک برای

جدول 2- مقدار و ویژگی های بقایای برگشتی ذرت به خاک در تیمارهای مختلف بقایا

نوع خاکورزی	مدیریت بقایا	کود اوره (kg.ha ⁻¹)	مقدار بقایای برگشتی به خاک (kg.ha ⁻¹)		مقدار کربن برگشتی به خاک (kg.ha ⁻¹)		نسبت کربن به نیتروژن (C/N)	
			سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم		
خاکورزی رایج	عدم بقایا	0	-	-	-	-	-	
		150	-	-	-	-	-	
		300	-	-	-	-	-	
		450	-	-	-	-	-	
		0	3422	3788	1540	1705	75	
خاکورزی حداقل	حضور بقایا	150	4766	5255	2145	2365	56	
		300	6233	7944	2805	3575	43	
		450	7211	8801	3245	3960	45	
		0	-	-	-	-	-	-
		150	-	-	-	-	-	-
خاکورزی حداقل	عدم بقایا	300	-	-	-	-	-	
		450	-	-	-	-	-	
		0	3422	3300	1540	1485	60	
		150	4583	5133	2062	2310	47	
		300	5866	7455	2640	3355	43	
خاکورزی حداقل	حضور بقایا	450	6966	8433	3135	3795	41	
		39						

محاسبه میزان پتانسیل گرمایش جهانی

به عنوان شاخص گرمایش جهانی مدنظر قرار گرفت. اندازه گیری میزان انتشار گازهای دی اکسید کربن، اکسید نیتروژن و متان از زمین با استفاده از روش اتاقت بسته انجام شد (مرادی 1392). میزان انتشار دی اکسید کربن به ازای تولید هر تن کود نیتروژن برابر با 857 کیلوگرم کربن می‌باشد (وست و مورلن 2002). میزان ساعت کار و سوخت مصرفی در هر هکتار برای هر کدام از دو نوع سیستم خاک‌ورزی اندازه گیری گردید که جزئیات آن در جدول 3 نشان داده شده است.

محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس گزارشات روبرسون و همکاران (2000) و تیلن و همکاران (2010) انجام شد. به منظور محاسبه این شاخص، میزان دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن خارج شده از زمین، دی اکسید کربن منتشر شده حاصل از عملیات خاک‌ورزی و آماده سازی زمین بوسیله ماشین آلات و همچنین میزان دی اکسید کربن انتشار یافته برای تولید کود شیمیایی نیتروژن در تیمارهای مختلف اندازه گیری گردید. مجموع این گازها

جدول 3- تعداد ساعت کار و سوخت مصرفی (لیتر در هکتار) در خاک‌ورزی رایج و حداقل

نوع خاک‌ورزی	ساعت کار					سوخت مصرفی (لیتر در هکتار)				
	دیسک	فاروئر	لولر	گاواهن	کل	دیسک	فاروئر	لولر	گاواهن	کل
خاک‌ورزی رایج	2	2	3	5	12	11/6	11/6	17/4	29	69/6
خاک‌ورزی حداقل	3	2	0	0	5	17/4	11/6	0	0	29

زمین نقش دارند (IPCC 2007). بنابراین واحد این شاخص به صورت معادل دی اکسید کربن بیان شد که برای این منظور میزان گاز اکسید نیتروژن با ضریب 298 و متان با ضریب 25 در محاسبات وارد شد. در نهایت میزان پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس معادله 2 محاسبه شد.

معادله [2]

$$GWP = Soil CO_2 flux + soil N_2O flux + soil CH_4 + Till CO_2 flux + Fert CO_2 flux$$

در این معادله، GWP : پتانسیل گرمایش زمین (کیلوگرم کربن در هکتار)، $Soil CO_2 flux$: انتشار دی اکسید کربن از خاک، $soil N_2O flux$: انتشار اکسید نیتروژن از خاک، $soil CH_4$: انتشار متان از خاک، $Till CO_2 flux$: انتشار دی اکسید کربن بوسیله خاک‌ورزی و $Fert CO_2 flux$: میزان دی اکسید کربن تولید شده برای تولید کود شیمیایی می‌باشند.

میزان دی اکسید کربن انتشار یافته ($CO_2 Emission$) بر حسب کیلوگرم در هکتار از مصرف سوخت گازوئیلی برای هر دو سیستم خاک‌ورزی بر اساس معادله زیر محاسبه گردید:

$$CO_2 Emission = \frac{(Fuel \times \alpha)}{1000} \times \beta \quad [1]$$

$Fuel$: میزان سوخت مصرفی بر حسب لیتر؛ α : واحد تبدیل لیتر گازوئیل به انرژی برابر با 50/23 مگاژول بر لیتر؛ (تیلور و همکاران 1993)؛ و β : واحد تبدیل انرژی مصرفی حاصل از سوخت گازوئیل به گاز دی اکسید کربن برابر با 21/95 کیلوگرم کربن بر گیگاژول انرژی (وست و مورلن 2002) است. بنابراین، با توجه به فرمول، میزان انتشار دی اکسید کربن به ازای یک لیتر سوخت گازوئیلی برابر با 1/1 کیلوگرم کربن در هکتار می‌باشد.

اثر هر کدام از گازهای دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن بر گرمایش زمین متفاوت می‌باشد، بطوریکه هر واحد متان و اکسید نیتروژن به ترتیب حدود 25 و 298 برابر دی اکسید کربن در گرمایش

تجزیه و تحلیل آماری

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 5 درصد جهت مقایسه میانگین استفاده شد. لازم به ذکر است که بدلیل هزینه بالای اندازه گیری انتشار گازهای گلخانه‌ای، عملیات نمونه‌گیری تنها از یک تکرار صورت گرفت. بنابراین، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین برای بیلان کربن و پتانسیل گرمایش جهانی انجام نشد. رسم نمودارها نیز توسط نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ترسیب و بیلان کربن

در سال اول میزان ترسیب کربن تحت تأثیر اثر بقایا قرار گرفت ($P < 0.01$) ولی اثر تیمارهای خاک‌ورزی و

کود بر این صفت معنی‌دار نبود. بر همکنش موجود بین کلیه تیمارهای خاک‌ورزی، بقایا و کود و همچنین اثر سه گانه آنها بر میزان ترسیب کربن در سال اول از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول 4). در سال دوم آزمایش نیز مانند سال اول، از بین اثرات ساده فقط تیمار بقایا ولی از بین اثرات دوگانه تنها برهمکنش بقایا و کود اوره بر میزان ترسیب کربن به‌ترتیب در سطح احتمال 1 و 5 درصد معنی‌دار شدند و تأثیر سایر اثرات ساده (خاک‌ورزی و کود)، دو گانه (خاک‌ورزی × بقایا و خاک‌ورزی × کود) و سه گانه (خاک‌ورزی × بقایا × کود) بر میزان ترسیب کربن معنی‌دار نبود (جدول 4). علیجانی و همکاران (2012) گزارش نمودند که میزان کربن خاک در خاک‌ورزی رایج کمتر از خاک‌ورزی با چیزل ترسیب یافت.

جدول 4- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به تأثیر مدیریت خاک‌ورزی، بقایا و

کود اوره بر ترسیب کربن در خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	سال اول	سال دوم
بلوک	2	105922 ^{ns}	3003439 ^{ns}
خاک‌ورزی (A)	1	11671 ^{ns}	804/2 ^{ns}
خطای یک	2	23733	1210203
کود (C)	3	737360 ^{ns}	5219372 ^{ns}
A×C	3	1686 ^{ns}	4141 ^{ns}
خطای دو	12	346532	2734051
بقایا (B)	1	230180038 ^{**}	464214213 ^{**}
خطای سه	2	646548	828488
A×B	1	4078 ^{ns}	1819 ^{ns}
خطای چهار	2	114015	1128291
B×C	3	906614 ^{ns}	6086133 [*]
A×B×C	3	60/20 ^{ns}	3569 ^{ns}
خطای پنج	12	1468847	1611358
ضریب تغییرات	-	19	12

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

بقایا گردید (جدول 5). بالاتر بودن ترسیب کربن در سال دوم در شرایط حفظ بقایا را می‌توان به مقدار بیشتر برگشت بقایا به خاک در سال دوم در مقایسه با سال اول نسبت داد. برهمکنش خاک‌ورزی \times بقایا در هر دو سال آزمایش نیز نشان داد که وجود بقایا هم در خاک‌ورزی رایج و هم در خاک‌ورزی حداقل از میزان ترسیب کربن بیشتری در مقایسه با عدم حضور بقایا برخوردار بود. علیجانی و همکاران (2012) با بررسی تأثیر نگهداری بقایای ذرت پس از دو سال و کود اوره بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین میزان نیتروژن و عملکرد گندم، گزارش نمودند که با افزایش حجم بقایای دو ساله ذرت، میزان نیتروژن و کربن خاک افزایش معنی‌داری نشان داد.

نتایج مقایسه میانگین تأثیر مدیریت بقایا بر میزان ترسیب کربن هم در سال اول و هم در سال دوم نشان داد که به طور کلی باقی گذاشتن بقایای ذرت در خاک باعث افزایش میزان ترسیب کربن در مقایسه با شرایط عدم ننگ داشتن بقایا در سطح خاک شد (جدول 5). با توجه به اینکه تقریباً 45% بقایای گیاهی شامل کربن می‌باشد (بولیندر و همکاران 2007)، بنابراین، حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک سبب افزایش میزان کربن موجود در خاک نسبت به شرایط عدم حفظ بقایا گردید. بالاتر بودن میزان ترسیب کربن در تیمار حضور بقایا در مقایسه با عدم وجود بقایا، در سال دوم بیشتر از سال اول بود بطوریکه، اضافه کردن بقایا در خاک سبب افزایش 48 درصدی میزان ترسیب کربن در سال اول و 69 درصدی در سال دوم نسبت به شرایط عدم وجود

جدول 5- تأثیر مدیریت خاک‌ورزی، بقایا و کود اوره بر میزان ترسیب کربن در کشت ذرت ($\text{kg C}\cdot\text{ha}^{-1}$)

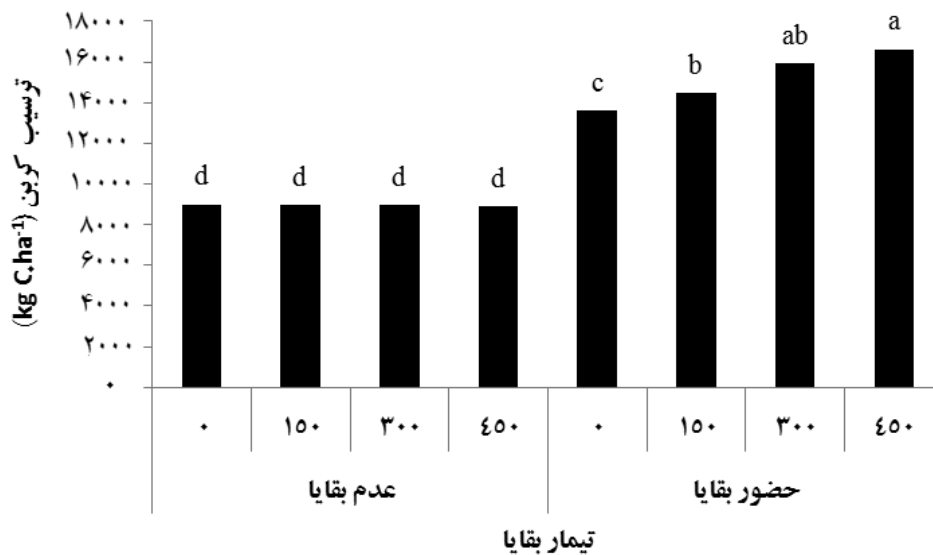
سال دوم	سال اول	تیمارهای آزمایشی	
12055a	11324a	خاک‌ورزی رایج	نوع خاک‌ورزی
12063a	11355a	خاک‌ورزی حداقل	
8949b	9150b	عدم بقایا	مدیریت بقایا
15168a	13529a	حضور بقایا	
11306a	11058a	0	کود اوره ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
11732a	11226a	150	
12443a	11455a	300	
12754a	11620a	450	

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار می‌باشد.

به ذکر است که افزایش ترسیب کربن با افزایش سطوح کاربرد کود در سال دوم در مقایسه با سال اول در هر دو سیستم خاک‌ورزی چشمگیرتر بود (جدول 5). نتایج مربوط به اثر برهمکنش بقایا و کود بر ترسیب کربن در سال دوم نشان داد که در تمام سطوح کودی، تیمار وجود بقایا دارای ترسیب کربن بیشتری

میزان ترسیب کربن تحت تأثیر اثر متقابل خاک‌ورزی و کود نیتروژن قرار نگرفت و تأثیر آن بر ترسیب کربن از لحاظ آماری معنی دار نبود (جدول 4) با این وجود، افزایش مقدار کاربرد کود با افزایش جزئی در میزان ترسیب کربن در هر دو روش خاک‌ورزی همراه بود که این روند در هر دو سال آزمایش مشاهده شد. البته لازم

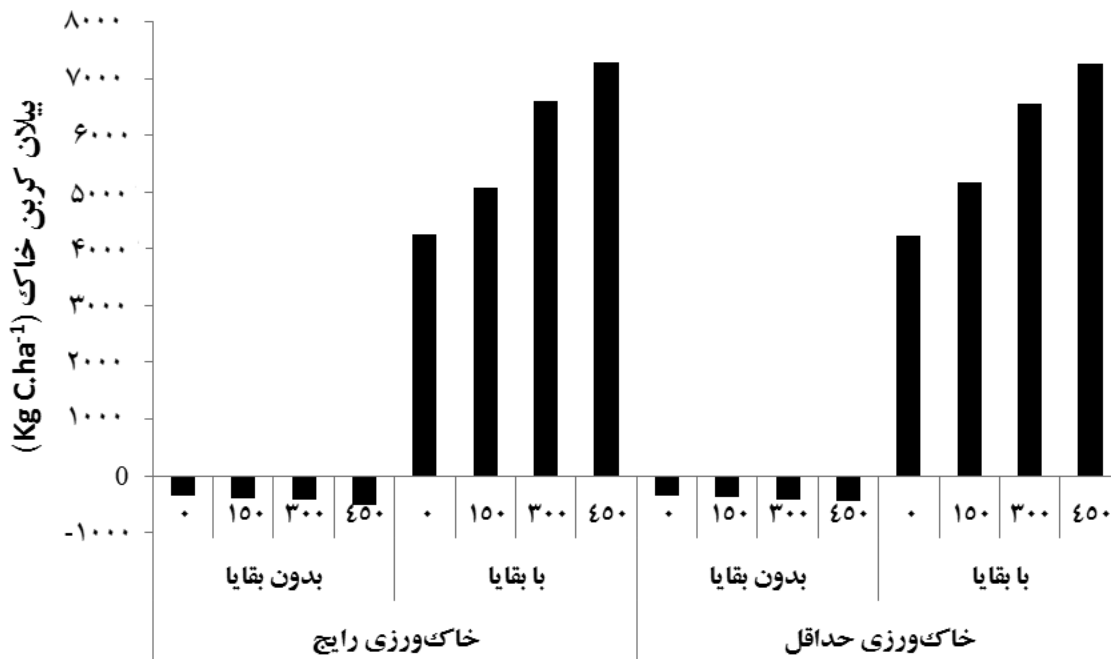
میزان مصرف کود در هنگام وجود بقایا باعث افزایش میزان ترسیب کربن در سال دوم شد، در حالیکه روند مشخصی در شرایط عدم حضور بقایا با افزایش سطوح کودی مشاهده نگردید. افزایش میزان مصرف کود نیتروژنه باعث افزایش زیست توده گیاه می شود (شافی و همکاران 2007) که در چنین شرایطی، برگشت بقایا به خاک منجر به ورود کربن بیشتری به خاک شده و در نهایت ترسیب کربن در سطوح بالای مصرف کود افزایش می یابد.



شکل 2- تأثیر مدیریت بقایا و سطوح کود اوره بر میزان ترسیب کربن در سال دوم آزمایش

هم در خاک‌ورزی رایج و هم در خاک‌ورزی حداقل، میزان بیلان کربن در تیمارهای مختلف کودی منفی بود. این امر نشان دهنده این است که در شرایط عدم حفظ بقایا در خاک، نه تنها کربنی در خاک ترسیب نمی یابد بلکه مقداری از کربن خاک نیز به صورت تنفس میکروبی از خاک خارج می شود که در نهایت باعث ایجاد بیلان منفی در کربن خاک می شود. حفظ بقایای گیاهی در خاک به دلیل وجود کربن در پیکره خود باعث افزایش میزان کربن موجود در خاک و در نتیجه بیلان مثبت کربن گردید.

میزان بیلان دو ساله کربن که حاصل اختلاف بین کربن موجود در خاک در انتهای سال دوم آزمایش با میزان کربن خاک در ابتدای شروع آزمایش در سال اول می باشد، تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی، بقایا و کود نیتروژن در شکل 3 نشان داده شده است. وجود بقایا در هر دو سیستم خاک‌ورزی و در تمام سطوح کاربرد کود دارای بیلان کربن مثبت بود، به عبارتی بعد از طی دو سال، کربن در خاک ترسیب یافته و میزان کربن موجود در خاک در مقایسه با ابتدای شروع آزمایش افزایش نشان داد. در شرایط عدم حضور بقایا



شکل 3- ترکیب تیماری خاک‌ورزی در بقایا در کود اوره بر بیلان دو ساله کربن خاک

کود باعث افزایش زیست‌توده گیاهی و در نتیجه برگشت بقایای بیشتر به خاک می‌گردد که این موضوع سبب بالا رفتن بیلان کربن در سطوح بالای مصرف کود شد.

پتانسیل گرمایش جهانی

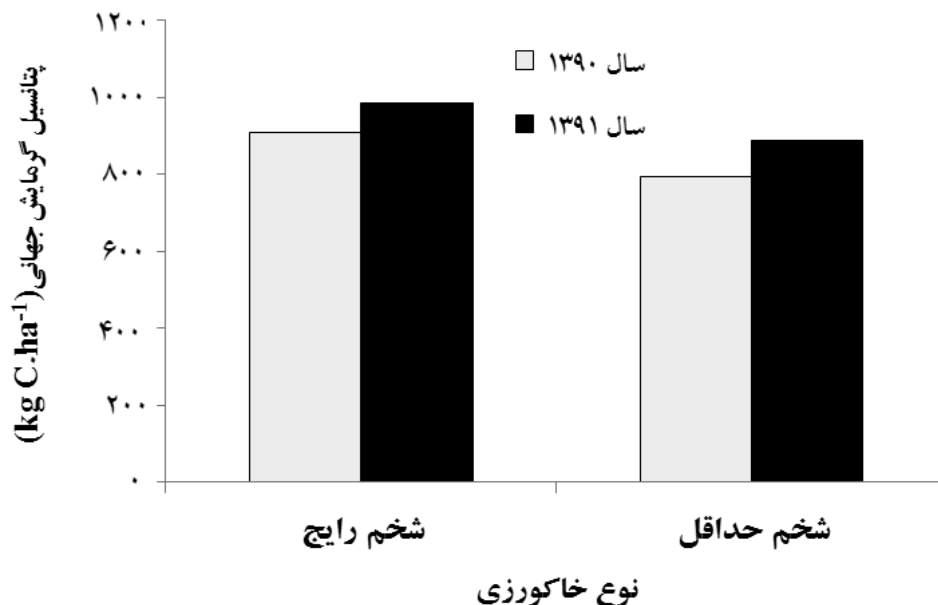
در بحث انتشار گازهای گلخانه‌ای، از یک سو میزان انتشار هر کدام از گازهای مختلف گلخانه‌ای مطرح می‌باشد، که هر چه میزان انتشار این گازها افزایش یابد، پدیده تغییر اقلیم و گرمایش زمین از شدت بیشتری برخوردار می‌باشد و از سوی دیگر نقش هر کدام از آنها در گرمایش زمین مورد توجه می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که تأثیر هر واحد از گازهای متان و اکسید نیتروژن در پتانسیل گرمایش جهانی، به مراتب بیشتر از دی اکسید کربن می‌باشد. بر اساس گزارشات سازمان بین‌الدول تغییر اقلیم، هر واحد متان و اکسید

اختلاف چندانی بین دو سیستم خاک‌ورزی از لحاظ بیلان کربن در شرایط وجود و عدم وجود بقایا و همچنین در سطوح کودی مشاهده نشد (شکل 3). افزایش میزان کاربرد کود اوره باعث افزایش میزان بیلان کربن در شرایط وجود بقایا در هر دو سیستم خاک‌ورزی گردید، در صورتی که در شرایط عدم وجود بقایا عکس این حالت مشاهده شد و افزایش کاربرد کود باعث کاهش اندکی در بیلان کربن و منفی تر شدن آن در هر دو روش خاک‌ورزی شد (شکل 3). در شرایط عدم وجود بقایای گیاهی، استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکزی موجود در ناحیه ریشه گیاه می‌گردد (دوران و همکاران 1998) و از آنجاییکه این میکروارگانیسم‌ها در زمان فعالیت و تنفس گاز دی اکسید کربن متصاعد می‌نمایند (تان و لال 2005)، باعث بالا رفتن میزان انتشار این گاز و در نتیجه منفی شدن بیلان کربن خاک می‌گردند. در شرایطی که برگشت بقایا به خاک صورت می‌گیرد، افزایش کاربرد

سازی شامل گاو آهن، دیسک، لولر و فاروئر و در سیستم خاکورزی حداقل شامل دیسک و فاروئر بود، که متعاقب آن در شرایط خاکورزی رایج 69/6 و در خاکورزی حفاظتی 29 لیتر در هکتار سوخت مصرف شد (جدول 3). این میزان سوخت، باعث تولید حدود 77 و 32 کیلوگرم دی اکسید کربن در هکتار به ترتیب در خاکورزی رایج و حداقل گردید.

نیترژن به ترتیب حدود 25 و 298 برابر دی اکسید کربن در گرمایش زمین نقش دارند (IPCC 2007).

نتایج نشان داد که در هر دو سال آزمایش، میزان پتانسیل گرمایش جهانی در خاکورزی رایج بیش‌تر از خاکورزی حفاظتی بود (شکل 4). همچنین، در سال دوم آزمایش به دلیل حجم و تجزیه بیشتر بقایای گیاهی میزان این صفت بالاتر از سال اول آزمایش بود. همانطور که در بخش مواد و روش‌ها نیز اشاره گردید، در سیستم خاکورزی رایج عملیات آماده



شکل 4- میزان پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) بر اساس معادل کربن در سیستم‌های مختلف خاکورزی در کشت ذرت

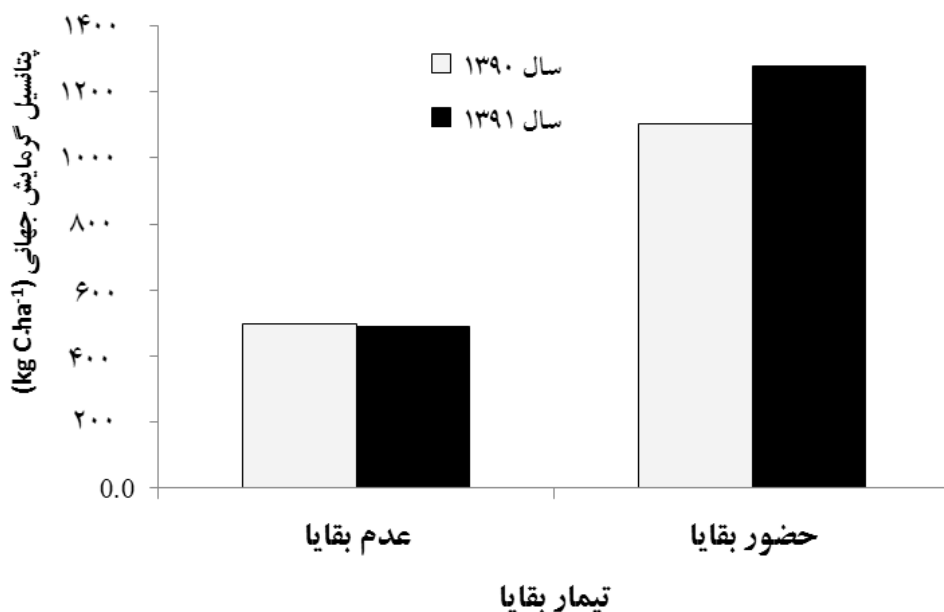
گرمایش جهانی دارد (دندون و همکاران 2012)، در خاکورزی رایج کمتر از خاکورزی حداقل بود (جدول 4-16). با این وجود، به دلیل حجم بیشتر انتشار دی اکسید کربن نسبت به اکسید نیترژن، در این آزمایش گاز اکسید نیترژن سهم کمتری در پتانسیل گرمایش جهانی داشت (شکل 4). میر-آوریچ و همکاران (2006) در مقایسه انتشار گازهای گلخانه‌ای بین سیستم‌های خاکورزی رایج و حفاظتی گزارش کردند هنگامی که

علاوه بر این، بدلیل اختلاط بهتر بقایای گیاهی با خاک و همچنین شرایط تهویه مناسب‌تر جهت خروج گاز دی اکسید کربن، خاکورزی رایج از شدت انتشار دی اکسید کربن بیشتری نسبت به خاکورزی حداقل برخوردار بود (مرادی 1392). به نظر می‌رسد، این عوامل در افزایش شدت گرمایش جهانی توسط خاکورزی رایج نقش دارند. نکته قابل توجه اینکه، انتشار اکسید نیترژن که خود نقش مهمتری در

وجود بقایا اختلاف چشم‌گیری هم در سال اول و هم سال دوم آزمایش وجود داشت (شکل 5). میزان این صفت در تیمار حضور بقایای گیاهی حدود 3 برابر آن در شرایط عدم بقایا، اختلافی بین سال اول و دوم آزمایش از لحاظ پتانسیل گرمایش جهانی وجود نداشت ولی در تیمار حضور بقایای ذرت، در سال دوم افزایش اندکی در این صفت نسبت به سال اول مشاهده شد (شکل 5). دلیل بالاتر بودن میزان پتانسیل گرمایش جهانی در حضور بقایای گیاهی می‌تواند بالا بودن میزان انتشار گازهای اکسید نیتروژن و دی اکسید کربن در این تیمار نسبت به شرایط عدم وجود بقایای گیاهی باشد.

فقط انتشار از خاک مدنظر قرار گیرد، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم خاک‌ورزی رایج کمتر از خاک‌ورزی حفاظتی است ولی زمانی که انتشار توسط ماشین آلات نیز در نظر گرفته می‌شود، انتشار در سیستم خاک‌ورزی حفاظتی بدلیل کاهش مصرف ماشین آلات در این سیستم، کمتر از خاک‌ورزی رایج می‌باشد. فیلوپوویک و همکاران (2006) اظهار داشتند که با اعمال خاک‌ورزی حفاظتی به جای خاک‌ورزی رایج، کاهش مصرف سوخت می‌تواند منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود.

تأثیر مدیریت بقایای ذرت بر میزان پتانسیل گرمایش جهانی نیز نشان داد که بین تیمار وجود و عدم

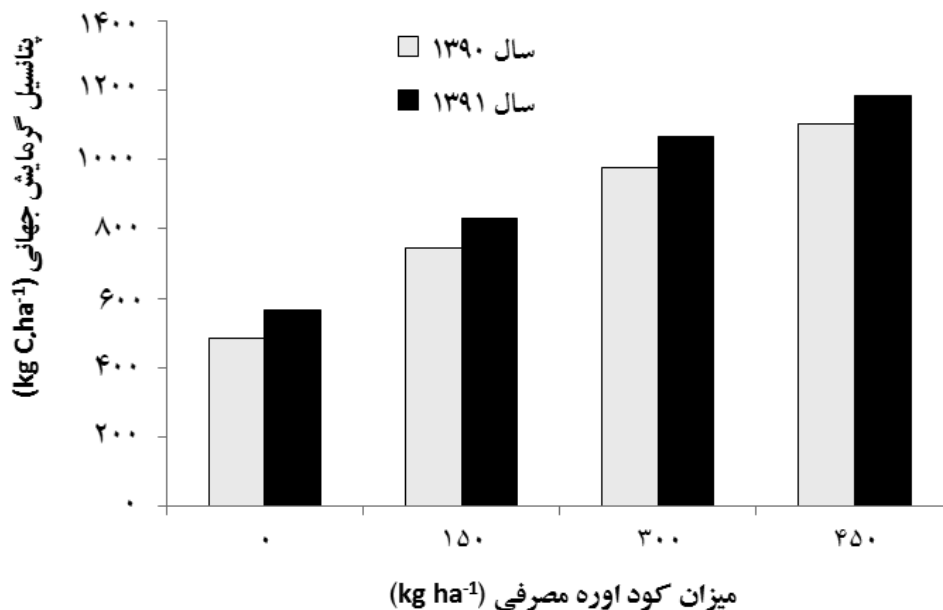


شکل 5- میزان پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس معادل کربن تحت تأثیر مدیریت بقایای ذرت در کشت ذرت

سطح 450 کیلوگرم در هکتار کود اوره متفاوت بود. افزایش میزان کود نیتروژن مصرفی، از طرفی تأثیر مستقیم بر افزایش انتشار اکسید نیتروژن دارد که این موضوع خود نقش مهمی در افزایش پتانسیل گرمایش جهانی دارد. از سوی دیگر، همانطور که بیان شد، با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن، به دلیل افزایش

نتایج نشان داد که افزایش میزان کاربرد نیتروژن در هر دو سال آزمایش باعث افزایش قابل توجهی در میزان پتانسیل گرمایش جهانی شد (شکل 6). در سال دوم آزمایش، میزان این صفت از 568 کیلوگرم دی اکسید کربن در هکتار در شرایط عدم اعمال کود اوره تا 1182 کیلوگرم دی اکسید کربن در هکتار در

فعالیت ریشه و ریزموجودات خاک، میزان انتشار دی اکسید کربن افزایش یافت. این عوامل می‌توانند منجر به پتانسیل گرمایش جهانی بیشتر در شرایط مصرف بالاتر نیتروژن گردند.



شکل 6- تأثیر سطوح مختلف کود اوره بر میزان پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس معادل کربن در کشت ذرت

نتیجه گیری کلی

این صفت بالاتر از سال اول آزمایش بود. تیمار وجود بقایای گیاهی نیز باعث افزایش قابل توجه پتانسیل گرمایش جهانی نسبت به شرایط عدم وجود بقایای گیاهی گردید. همچنین، میزان پتانسیل گرمایش جهانی به شدت از میزان کود اوره مصرفی تأثیر پذیرفت و با افزایش سطوح کود اوره، این صفت افزایش چشم گیری نشان داد. بطور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که عملیات کشاورزی حفاظتی می‌تواند باعث تعدیل⁴ اثرات منفی تغییر اقلیم گردد.

تأثیر مدیریت بقایا بر میزان ترسیب کربن در هر دو سال آزمایش نشان داد که باقی گذاشتن بقایای ذرت در خاک باعث افزایش میزان ترسیب کربن در مقایسه با شرایط عدم نگه داشتن بقایا در سطح خاک شد. در شرایط افزایش میزان کود مصرفی، زیست توده گیاهی نیز افزایش یافت، بنابراین در چنین شرایطی، برگشت بقایا به خاک منجر به ورود کربن بیشتری به خاک شده و به تبع آن، ترسیب کربن در سطوح بالای مصرف کود افزایش یافت. وجود بقایا هم در خاک‌ورزی رایج و هم در خاک‌ورزی حداقل دارای بیلان کربن مثبت بود، در حالیکه در شرایط عدم حضور بقایا، در هر دو سیستم خاک‌ورزی و در تمام سطوح کاربرد کود، میزان بیلان کربن منفی بود. در بررسی تأثیر تیمارهای مختلف مورد بررسی بر پتانسیل گرمایش جهانی مشاهده شد که میزان این صفت در خاک‌ورزی رایج بدلیل استفاده بیشتر از ماشین آلات بیشتر از خاک‌ورزی حداقل برای هر دو سال آزمایش بود. در سال دوم آزمایش میزان

منابع مورد استفاده

- اسدی ا، یحیی آبادی م و تاکی ا، 1390. تأثیر خاک ورزی مرسوم و حفاظتی بر عملکرد ذرت در تناوب جو-ذرت. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، 12: 83-96.
- صالحی ف، بحرانی م، کاظمینی س ع، پاک نیت ح و کریمیان ن، 1390. تأثیر مقادیر بقایای گندم و کود نیتروژن بر برخی ویژگیهای خاک مزرعه در زراعت لوبیا. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، 55: 218-209.
- علیجانی خ، بحرانی م ب و کاظمینی س ع، 1390. تأثیر روشهای خاکورزی و مقادیر بقایای ذرت بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گندم. نشریه پژوهشهای زراعی ایران، 9(3): 486-493.
- مرادی ر، 1392. بررسی تأثیر روشهای خاکورزی، مدیریت بقایا و کاربرد کود نیتروژن بر بیلان گازهای گلخانه‌ای در کشت ذرت (*Zea mays* L.) و ارائه رهیافت‌های سازگاری به تغییر اقلیم. رساله دکتری زراعت-اکولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه فردوسی مشهد.
- Abdi N, Arefi MH and Zahedi Amiri G, 2009. Estimation of carbon sequestration in Astragalus rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). *Journal of Range and Desert Research*, 15: 269-282
- Alijani Kh, Bahrani MJ and Kazemeini SA, 2012. Short-term responses of soil and wheat yield to tillage, corn residue management and nitrogen fertilization. *Soil and Tillage Research*, 124: 78–82.
- Bayer C, Martin-Neto L, Mielniczuk J, Pillon CN and Sangoi L, 2001. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping system. *Soil Science Society of America Journal*, 65: 1473-1478.
- Bolinder MA, Janzen HH, Gregorich EG, Angers DA and VandenBygaart AJ, 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118: 29–42.
- Dendooven L, Gutiérrez-Oliva VF, Patiño-Zúñiga L, Ramírez-Villanueva DA, Verhulst N, Luna-Guido M, Marsch R, Montes-Molina J, Gutiérrez-Miceli FA, Vásquez-Murrieta S and Govaerts B, 2012. Greenhouse gas emissions under conservation agriculture compared to traditional cultivation of maize in the central highlands of Mexico. *Science of the Total Environment*, 431: 237–244.
- Doran, JW, Elliott, ET and Paustian, K, 1998. Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long term change in organic carbon pools as related to fallow tillage management. *Soil Tillage Research*, 49:3-18.
- Filipovic D, Kosutic S, Gospodaric Z, Zimmer R and Banaj D, 2006. The possibilities of fuel savings and the reduction of CO₂ emissions in the soil tillage in Croatia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115:290–294.
- 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.

- IPCC, 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (eds J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken & K.S. White), 1032 pp. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Meyer-Aurich A, Weersink A, Janovicek K and Deen B, 2006. Cost efficient rotation and tillage options to sequester carbon and mitigate GHG emissions from agriculture in Eastern Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 117: 119–127.
- Mrabet R, 2002. Stratification of soil aggregation and organic matter under conservation tillage systems in Africa. *Soil and Tillage Research*, 66:119-128.
- Robertson GP, Paul EA and Harwood RR, 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science*, 289:1922–5.
- Shafi M, Bakht J, Jan MT and Shah Z, 2007. Soil C and N dynamics and maize (*Zea may* L.) yield as affected by cropping systems and residue management in North-western Pakistan. *Soil & Tillage Research*, 94: 520–529.
- 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.
- Singh HP, Batish DR and Kohli RK, 2003. Allelopathic interactions and allelochemicals: new possibilities or sustainable weed management. *Critical Review in Plant Science*, 22: 239-311.
- Smith P, 2004. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *European Journal of Agronomy*, 20: 229–236.
- Smith P, Powlson DS, Smith JU, Falloon PD and Coleman K, 2000. Meeting Europe's climate change commitments: quantitative estimates of the potential for carbon mitigation by agriculture. *Global Change Biology*, 6: 525–539.
- 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.
- Taylor EB, O'Callaghan PW and Probert SD, 1993. Energy audit of an English farm. *Applied Energy*, 1993, 44:315-35.
- Thelen KD, Fronning BE, Kravchenko A, Min DH and Robertson GP, 2010. Integrating livestockmanure with a corn–soybean bioenergy cropping system improves short-term carbon sequestration rates and net global warming potential. *Biomass and Bioenergy*, 34:960–6.
- Twine TE and Kucharik CJ, 2009. Climate impacts on net primary productivity trends in natural and managed ecosystems of the central and eastern United States. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 2143–2161.
- West TO 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.
- Wilhelm W and Wortmann CS, 2004. Tillage and rotation interactions for corn and soybean grain yield as affected by precipitation and air temperature. *Agronomy Journal*, 96:425-432.