



بررسی تاثیر روش‌های مختلف خاکورزی پنبه بر انتشار گاز اکسید نیتروس (N_2O) و آمونیاک (NH_3) در تناوب پنبه- گندم در منطقه داراب

ابوالقاسم قیصری^۱، محمدرضا اصغری پور^۲، سید محسن موسوی نیک^۱، سید احمد قنبری^۳

دریافت: ۹۸/۱۰/۵ پذیرش: ۹۹/۶/۲۵

چکیده

برخی از روش‌های متداول خاک‌ورزی بدون افزایش عملکرد باعث هدر رفت منابع و انتشار گازهای گلخانه‌ای به محیط می‌شوند. به منظور تعیین اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر میزان انتشار اکسید نیتروز (N_2O) و آمونیاک (NH_3) در تناوب پنبه-گندم آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تیمار در ۴ تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب به مدت پنج سال انجام گرفت. تیمارهای تحقیق شامل کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی)، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم گندم و پنبه (به عنوان شاهد) بود. در تیمارهای کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی پس از برداشت گندم ۳۰ درصد وزنی از بقایای گندم در مزرعه پخش گردید. برآورد انتشار گاز N_2O و NH_3 از مزرعه پنبه در تناوب با گندم با استفاده از مدل DNDC9.5، در سال‌های چهارم و پنجم کاشت انجام شد. داده‌های سه سال ابتدایی پژوهش جهت اعتبارسنجی مدل استفاده شد. نتایج اعتبارسنجی مدل نشان داد که مدل در شبیه‌سازی محیط خاک و انتشار گازهای N_2O و NH_3 به خوبی عمل می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که میزان انتشار N_2O در خاک‌ورزی مرسوم با اختلاف معنی‌دار، بیشترین مقدار و در بی‌خاک‌ورزی کمترین مقدار را داشت. میانگین سالیانه انتشار N_2O در پنج سال آزمایش برای تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی حداقل و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب ۴/۴۰، ۲/۸۰ و ۲/۱۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال بود. اوج انتشار NH_3 از خاک در هر سه تیمار در روز پنجم بعد از هر بار کوددهی اتفاق افتاد. براساس نتایج به‌دست آمده از این بررسی، استفاده از روش بی‌خاک‌ورزی، مطلوب‌تر از سایر تیمارهای کشت پنبه در کشت دوگانه گندم- پنبه در شرایط مشابه با مطالعه حاضر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انتشار گازهای گلخانه‌ای، بی‌خاک‌ورزی، گرمایش جهانی، دنیتریفیکاسیون، مدل DNDC، چرخه نیتروژن

قیصری، ا. م. ر. اصغری پور، س. م. موسوی نیک و س. ا. قنبری. ۱۳۹۹. بررسی تاثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی پنبه بر انتشار گاز اکسید نیتروس (N_2O) و آمونیاک (NH_3) در تناوب پنبه- گندم در منطقه داراب. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴۳: ۲۱۳-۱۹۸.

۱- دانشجوی دکتری آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. مسئول مکاتبات. gheicari@gmail.com

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

مقدمه

توجه به مسائل زیست محیطی در سال‌های اخیر افزایش یافته است. بخش‌های مختلف اقتصادی با افزایش آگاهی‌های زیست محیطی، به ارزیابی اثرات فعالیت‌های خود علاقه‌مند شده‌اند. کشاورزی یکی از بخش‌های مهم اقتصادی است که اثرات مهمی بر محیط دارد (چارلز و همکاران، ۲۰۱۷). افزایش مکانیزاسیون، بهبود روش‌های تولید، کاربرد گسترده کودها و آفت‌کش‌ها و پیشرفت‌ها در دامپروری در طی قرن بیستم به افزایش تولید کمک زیادی نموده‌اند. امروزه، مصرف انرژی در بخش کشاورزی به دلیل افزایش جمعیت، کاهش زمین‌های قابل کشت و بهبود سطح رفاه زندگی میزان افزایش یافته است و برای تأمین غذای جمعیت رو به افزایش به استفاده فشرده از کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، ماشین‌آلات کشاورزی، انرژی برق و منابع طبیعی نیاز است (فیتون و همکاران، ۲۰۱۷)، اما این در حالی است که منابع فسیلی محدود می‌باشند و برای حفظ این منابع برای نسل‌های آینده بشر استفاده صحیح و با کارایی بالا از این منابع امری الزامی است. از طرف دیگر افزایش استفاده فشرده از منابع زمین باعث مشکلات زیست محیطی می‌شود. منبع اصلی چندین آلاینده مهم محیط زیست، کشاورزی می‌باشد (فرانکوویلی و همکاران، ۲۰۱۸). طبق پیمان‌نامه کیوتو (۱۹۹۷) توسعه کشاورزی با کارایی مصرف انرژی بالا می‌تواند در کاهش مقدار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی مؤثر باشد. استفاده بهینه از منابع در کشاورزی مشکلات زیست محیطی را کاهش می‌دهد، از تخریب منابع طبیعی جلوگیری می‌کند و باعث گسترش کشاورزی پایدار می‌شود (دنگ و همکاران، ۲۰۱۸).

کشاورزی به‌عنوان یک منبع شناخته شده و قابل توجه تولید گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (باریو و همکاران، ۲۰۱۷). غلظت گاز N₂O در اتمسفر از سال ۱۷۵۰ میلادی تاکنون ۲۰٪ افزایش یافته است (سیایس و همکاران، ۲۰۱۳). کاربرد کودهای نیتروژنه و عملیات زراعی، منشا انتشار ۷۸ درصد گاز N₂O در آمریکا است (UNEP, 2013).

پیچیدگی روابط حاکم بر چرخه‌های بیوژئوشیمیایی و اهمیت آن‌ها سبب می‌شود جهت کشف حقیقت، مدل‌های پیش-بینی کننده‌ای جهت بررسی تغییرات اقلیمی و کاربری‌های اراضی بر نرخ تصاعد گازهای گلخانه‌ای و تغییرات خصوصیات خاک‌ها به‌کار گرفته شود (لی و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعه چرخه‌های کربن و نیتروژن و اثرگذاری آن‌ها بر اقلیم جهانی با استفاده از مدل‌ها برای بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر

امکان بررسی گزینه‌های کاهش سهم بخش کشاورزی در تغییرات اقلیم را میسر می‌سازد. مدل DNDC (DeNitrification- DeComposition) نتایج رضایت-بخشی در شبیه‌سازی چرخه‌های کربن و نیتروژن و انتشار گازهای گلخانه‌ای از اراضی کشاورزی ارائه می‌دهد. این مدل با استفاده از زبان برنامه‌نویسی C++ نگارش شده است. مدل DNDC شامل دو ماژول اصلی می‌باشد. ماژول نخست می‌تواند رشد محصول، همچنین چرخه‌های کربن و نیتروژن در خاک را با استفاده از سه زیر مدل اقلیم خاک، رشد محصول و تجزیه خاک شبیه‌سازی کند (اوزوما و همکاران، ۲۰۱۵). ماژول دوم می‌تواند فرایندهای بیوشیمیایی مرتبط با عوامل محیط خاک با استفاده از زیرمدل نیتروفیکاسیون، دنیتروفیکاسیون و تخمیر را شبیه‌سازی کند. این مدل ذخایر کربن خاک را به چهار بخش بقایای گیاهی، بیوماس گیاهی، هوموس فعال و هوموس غیرفعال تقسیم می‌کند. در مرحله بعد ذخایر کربن بر اساس تفاوت در نسبت کربن به نیتروژن و سرعت تجزیه به سه زیر بخش بسیار ناپایدار، ناپایدار و مقاوم تقسیم می‌شوند (لی، ۱۹۹۴، ۱۹۹۵). این مدل برای تعیین پارامترهای فرایندهای بیوژئوشیمیایی خاک-گیاه از قوانین کلاسیک فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی در ترکیب با معادلات تجربی به‌دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی بهره می‌برد (گیلتراپ و همکاران، ۲۰۱۰).

ورودی‌های موردنیاز برای اجرای مدل DNDC شامل موقعیت مکانی محل اجرای مطالعه (شامل مختصات جغرافیایی)، اطلاعات روزانه هواشناسی (درجه حرارت حداقل، درجه حرارت حداکثر، نزولات، سرعت باد، تشعشع خورشیدی و رطوبت نسبی)، خصوصیات فیزیکی خاک (بافت، مقدار آب خاک در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم، وزن ظاهری خاک، واکنش خاک، هدایت هیدرولیکی خاک، نیتروژن معدنی و کربن آلی خاک)، و عملیات مدیریتی (شامل تناوب محصول، عملیات خاکورزی، جزئیات کاربرد کودهای شیمیایی و آلی، تاریخ‌های کاشت و برداشت و روش آبیاری) است. با اجرای مدل، DNDC رشد و عملکرد گیاه، میزان تسهیم تولید بیوماس گیاهی به برگ، ساقه، ریشه و دانه، نیتروفیکاسیون و دنیتروفیکاسیون، پروفایل‌های درجه حرارت و رطوبت خاک، مخازن/جریان‌های کربن خاک، مخازن/جریان‌های نیتروژن خاک، آبشویی نترات و میزان انتشار گازهای دی‌اکسیدکربن (CO₂)، متان (CH₄)، آمونیاک (NH₃)، اکسید نیتریک (NO)، اکسید نیتروز (N₂O) از سیستم‌های گیاهی - خاکی در پایان هر روز شبیه‌سازی، و مرتباً مدل‌سازی می‌شود. DNDC همچنین یک

CH₄ در فصل رشد برنج در بین تیمارهای مختلف تفاوت آماری معنی‌دار نشان داد. همچنین اثر متقابل خاکورزی و مدیریت بقایا بر انتشار گازهای گلخانه‌ای معنی‌دار بود، اما بر عملکرد گندم و برنج اثر معنی‌دار نداشتند.

این را می‌دانیم که دنیتریفیکاسیون و تولید N₂O بوسیله افزایش در WFPS (Water-filled pore space) زیاد می‌گردد. رسیدن به حداکثر انتشار N₂O در مقادیر WFPS بالای ۷۰ درصد و حداکثر دنیتریفیکاسیون در حالت اشباع خاک بدست می‌آید (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۸). برخی مطالعات نشان می‌دهند که مقدار انتشار N₂O در سیستم‌های خاکورزی مرسوم و بی‌خاکورزی بوسیله میزان آب خاک کنترل می‌گردد (بوکسز و همکاران، ۲۰۱۱؛ آلمارز و همکاران، ۲۰۰۹)، اما تاثیر مثبت یا منفی بکارگیری خاکورزی بر انتشار N₂O عمدتاً به بافت خاک و شرایط جوی بستگی دارد (فانگ و همکاران، ۲۰۱۵).

آلمارز و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی خود روی گیاه سویا در کانادا دریافتند که انتشار گاز N₂O در خاکورزی مرسوم نسبت به بی‌خاکورزی، از حداکثر مقدار ۱۸/۱ میلی‌گرم در متر-مربع در روز برای خاکورزی مرسوم به ۷/۴ میلی‌گرم در مترمربع در روز را برای بی‌خاکورزی کاهش می‌یابد. آن‌ها همچنین گزارش نمودند که بی‌خاکورزی با افزایش تثبیت N₂ در سویا ممکن است باعث کاهش انتشار CO₂ و N₂O در مقایسه با شخم معمول گردد. با این وجود، مطالعات مزرعه‌ای موجود، اثرات کاربرد خاکورزی یا مدیریت بقایا و یا اثر متقابل این دو شیوه بر انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خوبی روشن نمی‌سازد (بایر و همکاران، ۲۰۱۴).

با توجه به هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری‌های مستقیم و خطای بالای اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای، تعیین شیوه‌های بهینه مدیریت خاک و اثربخشی آنها در احتباس^۱ کربن اتمسفری و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی که قابلیت آنها اثبات شده است روشی به‌صرفه می‌باشد. این مسئله در ارزیابی بیلان کربن و نقش خاک‌های بخش کشاورزی در تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای و ایجاد کشاورزی پایدار حائز اهمیت می‌باشد. در این خصوص این تحقیق با هدف بررسی برآورد تاثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی بر میزان انتشار گاز گلخانه‌ای N₂O با استفاده از مدل DNDC در مزرعه پنبه در تناوب با گندم، اجرا گردید.

گزارش سالانه از عملکرد سالیانه محصول و مخازن و جریان‌ات کربن، نیتروژن و آب را برای سیستم شبیه‌سازی و ارائه می‌کند (لی، ۲۰۰۰).

فعالیت‌های کشاورزی، مانند شخم خاک و مدیریت بقایای محصول نقش مهمی در عملکرد محصول و یا انتشار گازهای گلخانه‌ای بازی می‌کنند (پاندی و همکاران، ۲۰۱۲، لیو و همکاران، ۲۰۱۴). محققان بسیاری اثر شخم و خاکورزی را روی آزادسازی گازهای گلخانه‌ای بررسی کرده‌اند. از جمله پاندی و همکاران (۲۰۱۳) در آزمایشی در هند اثرات روش‌های مختلف خاکورزی را در تناوب گندم-برنج بررسی کردند و گزارش نمودند که شخم متعارف برای هر دو گیاه، علاوه بر اینکه موجب افزایش عملکرد در گیاه گندم شد، باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز گردید. وی به همراه سایر همکاران در تحقیقی دیگر بیان نمودند که کاهش خاکورزی منجر به کاهش انتشار CH₄ و N₂O و عملکرد محصول می‌گردد (پاندی و همکاران، ۲۰۱۲).

خاکورزی خاک و مدیریت بقایا می‌تواند پویایی کربن (C) و نیتروژن (N) را تغییر داده و در نتیجه موجب تغییرات قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و عملکرد محصول شود (اسمیت و همکاران، ۲۰۱۰؛ لی و همکاران، ۲۰۱۰)؛ چنانچه آزمایش‌های پنجاه‌ساله در چین نشان داد که افزایش بقایا در مزرعه، باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول فصل رشد شد (سونگ و همکاران، ۲۰۱۹). با به‌کارگیری روش‌های مدیریت آبیاری و کوددهی انتظار می‌رود کشاورزی تاثیر کمتری در انتشار N₂O داشته باشد (مایلز و همکاران، ۲۰۱۶). بیشترین مقدار کربن آلی و نیتروژن کل خاک در سیستم بی‌خاکورزی و پس از آن در سیستم کم‌خاکورزی و کمترین مقدار مربوط به سیستم خاکورزی متداول می‌باشد. به این جهت که در سیستم بدون خاکورزی به دلیل آشفته‌گی کمتر خاک، فعالیت‌های آنزیمی خاک افزایش می‌یابد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱).

محققین انتشار N₂O بیشتری را برای خاکورزی مرسوم در مقایسه با کم‌خاکورزی و یا بی‌خاکورزی گزارش کرده‌اند. با این حال، روچیت و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که انتشار اکسید نیتروژن از خاک با فشرده‌سازی عملیات خاکورزی به ویژه در خاک‌های لومی افزایش یافت. ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) در آزمایشی در چین اثرات متفاوت خاکورزی و مدیریت بقایا بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را بررسی کردند، و گزارش نمودند که اگرچه در فصل رشد گندم میزان انتشار CH₄ و N₂O در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما انتشار

¹ - Sequestration

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه و طرح آزمایش

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی حسن آباد داراب، وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس (طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۱۰۷ متر از

سطح دریا) در فاصله ۲۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز اجرا شد. اقلیم منطقه گرم و خشک با میانگین بارندگی بلند مدت ۲۸۵ میلی‌متر می‌باشد. مشخصات خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارایه گردیده است. بافت خاک لومی، و زمین مورد نظر قبل از اجرای آزمایش به مدت سه سال آیش بوده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق (cm)	EC (ds/m)	pH	O.C. (%)	ازت (%)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب p.p.m.	سیلت (%)	رس (%)	شن (%)	بافت خاک
۱۵-۰	۱/۷	۷/۸	۰/۵۸	۲۲	۵/۹	۱۴۹	۴۷/۵	۱۷/۱	۳۵/۴	لومی
۳۰-۱۵	۰/۷۶	۷/۸	۰/۵۲	۲۴	۴/۷	۹۷	۴۶/۱	۱۹/۱	۳۴/۸	لومی

تمامی مراحل داشت پنبه مطابق دستورالعمل موسسه پنبه کشور انجام گرفت. آبیاری مزرعه با استفاده از سیفون به‌نحوی انجام شد که ارتفاع آب پشت سیفون‌ها ثابت و برای تمام سیفون‌ها در یک سطح قرار داشته باشد. مدت زمان آبیاری برای تمام تیمارهای مطالعه یکسان در نظر گرفته شد. میزان کود مصرفی بر اساس آزمون خاک در هر پنج سال تعیین شد. در مزرعه گندم و پنبه میزان مصرف کود مشابه بود، چنانچه تمامی کود سوپرفسفات (معادل ۳۰ کیلوگرم در هکتار P₂O₅) و نیترات پتاسیم (معادل ۴۴ کیلوگرم در هکتار K₂O) و یک سوم کود اوره (معادل ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) در زمان کاشت و توسط کارنده به کرت‌ها داده شد. بقیه کود اوره در دو مرحله (بعد از تنک‌کاری و دیگری بعد از گلدهی) به صورت سرک و با دست در مزرعه پخش شد. به‌منظور مبارزه با علف‌های هرز مزرعه پنبه، علفکش ترفلان بصورت پیش‌کشت به میزان ۴ لیتر در هکتار به همراه اولین آبیاری مصرف گردید. بعلاوه وجین دستی نیز در دو مرحله یکی در مرحله ۴ برگی به همراه عمل تنک‌کاری (۴۰ روز پس از کاشت) و دیگری در مرحله قبل از گلدهی انجام گرفت.

در مزرعه پنبه در پایان فصل رشد پس از باز شدن کامل غوزه‌ها، وش هر پلات بطور جداگانه در گونی‌های جداگانه برداشت و پس از توزین با ترازوی دیجیتال میزان عملکرد محصول پنبه تعیین گردید. در زمان برداشت، با برش بوته‌ها از سطح خاک و خشک کردن آنها در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، میزان بیوماس پنبه محاسبه گردید. میزان رطوبت متوسط خاک با استفاده از دماسنج میله‌ای حداکثر-حداقل TFA (مدل IP 67, Germany) در طول آزمایش اندازه‌گیری شد. WFPS% نیز به روش پائول (۲۰۰۷)

آزمایش به منظور تعیین اثرات روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در زراعت پنبه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تیمار در ۴ تکرار به مدت پنج سال زراعی (۱۳۹۱-۱۳۹۶) انجام گردید. تیمارهای تحقیق عبارت بودند از (۱) کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) گندم و پنبه، (۲) کم-خاک‌ورزی گندم و پنبه، و (۳) خاک‌ورزی مرسوم هر دو محصول گندم و پنبه، به عنوان شاهد. ابعاد هر کرت آزمایشی ۱۸۰ مترمربع (۳۰ متر طول و ۶ متر عرض) بود. هر کرت گندم شامل ۴۰ ردیف کاشت بود که با فاصله بین خطوط ۱۵ سانتی‌متر و فاصله روی خطوط ۲ سانتی‌متر در هفته آخر آبان ماه هر پنج سال کشت گردید. گندم با کمباین مخصوص آزمایشات برداشت و میزان ۳۰ درصد وزنی از بقایای گندم در تیمارهای کشت حفاظتی (بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حداقل) در مزرعه پخش گردید. همچنین در کشت پنبه، هر کرت شامل ۸ ردیف کاشت بود که با فاصله کاشت بین خطوط ۷۰ سانتی‌متر و فاصله روی خطوط ۲۰ سانتی‌متر در هفته آخر اردیبهشت ماه هر پنج سال کاشته شد.

در روش کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) قبل از کشت هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نشد و کشت با یک بار حرکت مستقیم‌کار (مارک Semeato مدل SHM 11/13 ساخت کشور برزیل) در مزرعه انجام شد. در روش کم‌خاک-ورزی از یک دستگاه خاک‌ورز مرکب (مارک پوتینگر ساخت کشور اتریش) استفاده شد. سپس برای کشت گندم از خطی‌کار و برای کشت پنبه از ردیف‌کار استفاده گردید. در روش مرسوم، خاک‌ورزی توسط گاواهن برگرداندار و دیسک انجام شد و گندم توسط خطی‌کار و پنبه توسط ردیف‌کار کشت گردید.

اندازه‌گیری شد. (m^3/m^3)

$$WFPS = \frac{VWC}{1 - BD/PD} \times 100\%$$

میزان N_2O از دستگاه (GC) Gas Chromatography (مدل 14a- Shimatzu, Japan) استفاده شد.

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، میزان انتشار آمونیاک با استفاده از دستگاه سنجش میزان آمونیاک Bentech (مدل GM8806, China) اندازه‌گیری شد.

برای تخمین انتشار گازهای گلخانه‌ای در این پژوهش از مدل DNDC 9.5 استفاده شد.

ارزیابی آماری نتایج شبیه‌سازی مدل

ارزیابی قدرت مدل در پیش‌بینی با استفاده از آماره جذر مجموع مربعات خطای نرمال شده ($RMSE_n$) و نیز ضریب رگرسیون خطا مقادیر واقعی در برابر مقادیر پیش‌بینی شده آزموده شد. $RMSE_n$ با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (رینالدی و همکاران، ۲۰۰۳).

$$RMSE_n = 100 \left(\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right)^{0.5} / O_{mean} \quad \text{Eq. 2}$$

داده‌هایی همانند انتشار گازها یا نمونه اصلی سیستم، تنظیم مدل یا کالیبره کردن آن می‌گویند. به عبارت دیگر هدف از کالیبراسیون حداقل کردن اختلاف بین خروجی پیش‌بینی شده و مشاهده شده است و این کار ممکن است بوسیله اندازه‌گیری دقیق پارامترها و یا بوسیله روش‌های بهینه‌سازی انجام شود. معمولاً رابطه خاصی بین شکل عمومی مدل و سیستم فیزیکی مورد مطالعه از طریق پارامترهای مدل وجود دارد که این رابطه، دقت مقادیر پارامترها را برای خوبی برازش، بین خروجی مدل و خروجی ثبت شده تعیین می‌کند.

در این مطالعه واسنجی مدل بوسیله آزمون و خطا (روش دستی) انجام شد. در این روش پارامترهایی شامل دما و رطوبت خاک، بیوماس و عملکرد پنبه که می‌توانند اندازه‌گیری شوند، وارد شده و تخمینی از پارامترهای ناشناخته به‌عنوان برآورد اولیه انجام گردید. سپس مدل اجرا شد و خروجی آن با خروجی مشاهده شده در نمونه اصلی مقایسه گردید. داده‌های سه سال ابتدایی تحقیق به منظور واسنجی مدل استفاده شد.

نتایج و بحث

محاسبه گردید. برای محاسبه WFPS مقدار رطوبت خاک، به صورت Volumetric water content (VWC) با واحد

Eq-1

Bulk density (BD) Bulk density را 0.83 گرم بر سانتی‌متر مکعب خاک در عمق 5 سانتی‌متری خاک و Particaly density (PD) 2.65 گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد. همچنین داده‌های هواشناسی روزانه از ایستگاه هواشناسی حسن-آباد داراب دریافت شد.

اندازه‌گیری میزان انتشار N_2O و آمونیاک

برای محاسبه میزان انتشار N_2O از روش قرار دادن درپوش روی خاک به‌صورت هفتگی استفاده گردید. در این روش هر درپوش به میزان 2 سانتی‌متر در خاک وارد و جریان N_2O خاک پس از گذشت 30 دقیقه در plexiglas chamber نمونه‌گیری می‌شود. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و جهت تعیین

در این معادله P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی، n تعداد اندازه‌گیری واقعی اجزای گیاهی و O_{mean} میانگین مقادیر واقعی می‌باشد. $RMSE_n$ به صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی بیان می‌شود. بر اساس تعریف، قدرت پیش‌بینی مدل در صورتی که مقدار $RMSE$ کمتر از 10 درصد باشد، عالی، اگر بین 10 تا 20 درصد باشد، خوب، اگر بین 20 تا 30 درصد باشد، متوسط و اگر بالاتر از 30 درصد باشد، ضعیف برآورد می‌گردد (رینالدی و همکاران، ۲۰۰۱). برای برازش معادلات و انجام محاسبات آماری، از نرم افزار Excel استفاده شد.

واسنجی مدل

برای طراحی مدل باید از فرایندها، معادلات ریاضی و الگوریتم‌هایی که فرایندها را توصیف می‌کنند شناخت نسبتاً کاملی داشته باشیم، زیرا اکثر مدل‌های بیوژئوشیمیایی نیاز به تطبیق و تعدیل پارامترهای کنترل‌کننده فرایندها دارند (بطور مثال تولید N_2O و CO_2 ، آبشویی، ذخیره رطوبت خاک و...).

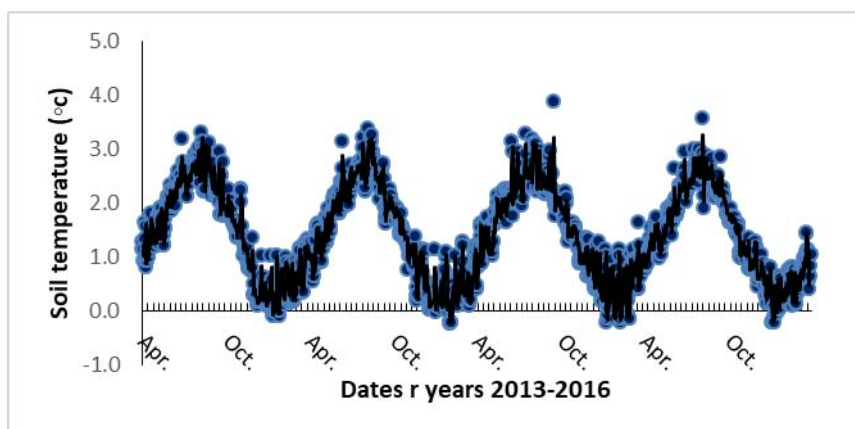
تطبیق پارامترها جهت هماهنگی و سازگاری مدل در تولید

اعتبار سنجی مدل

دما و رطوبت خاک

شکل ۱ مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده دمای متوسط روزانه خاک در عمق ۵ سانتی‌متری از فروردین ۱۳۹۲ تا اسفند ۱۳۹۵ را در سه تیمار نشان می‌دهد. الگوی زمانی و مقادیر مدل

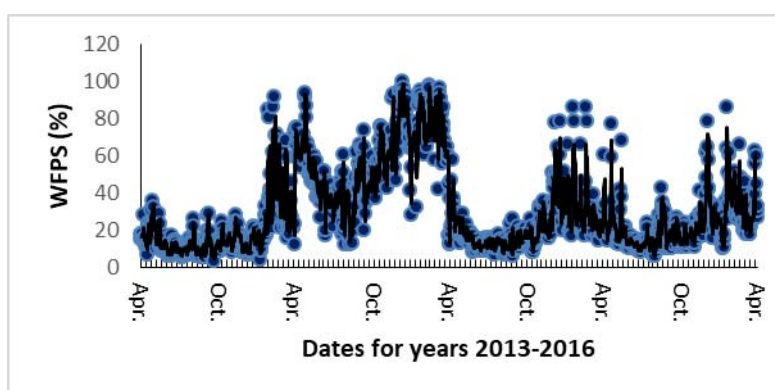
شده با اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای موافق بود. مقدار همبستگی خطی مقادیر شبیه‌سازی در برابر میانگین دماهای روزانه خاک مشاهده شده (R^2) برابر با ۰/۹۷ و شیب $(p < 0.01)$ ۱/۰ و مقدار RMSE ۱۰/۱۳٪ به دست آمد (جدول ۲).



شکل ۱- میانگین دمای روزانه خاک (۰ - ۵ سانتیمتر) مشاهده شده و شبیه سازی شده از ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵

میزان WFPS% علاوه بر میزان تهویه، قابلیت دسترسی به آب را نیز نشان می‌دهد (پاول، ۲۰۰۷). بهترین شرایط خاک برای انجام بیشترین انتشار و جریانات N_2O در محدوده دمایی ۱۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد و WFPS برابر با ۶۰-۸۰ درصد رطوبت خاک اتفاق افتاد و در شرایط گرم-خشک و سرد-مرطوب (خارج از محدوده بهینه) بسیار آهسته بود (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۸). همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، پیش‌بینی

مدل عموماً تغییرات زمانی و مقدار اندازه‌گیری شده رطوبت خاک در عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری را در اکثر موارد در بر داشته است، هر چند تفاوت‌هایی در برخی از مقادیر وجود داشت. همبستگی خطی مقادیر شبیه‌سازی شده در مقابل میانگین رطوبت متوسط مشاهده شده روزانه (R^2) برابر با ۰/۹۲ و شیب $(P < 0.01)$ ۱/۰۴ بود. RMSE نیز ۳۴/۵۷٪ محاسبه شد (جدول ۲).



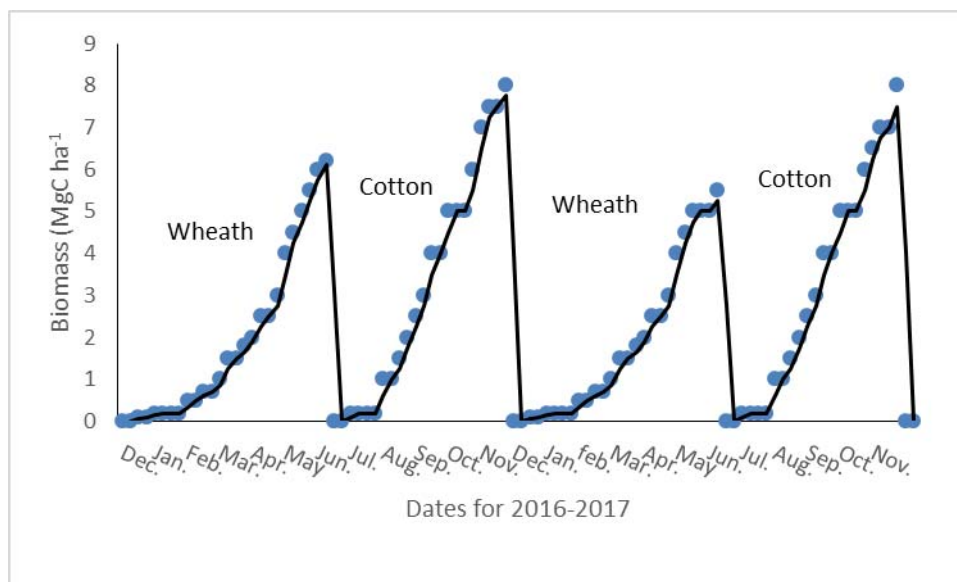
شکل ۲- میانگین درصد رطوبت روزانه در خلل و فرج خاک (۰ - ۵ سانتیمتر) مشاهده شده و شبیه سازی شده از ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵

جدول ۲ - مقادیر متغیرهای شبیه سازی شده DNDC در مقایسه با مقادیر مشاهدات.

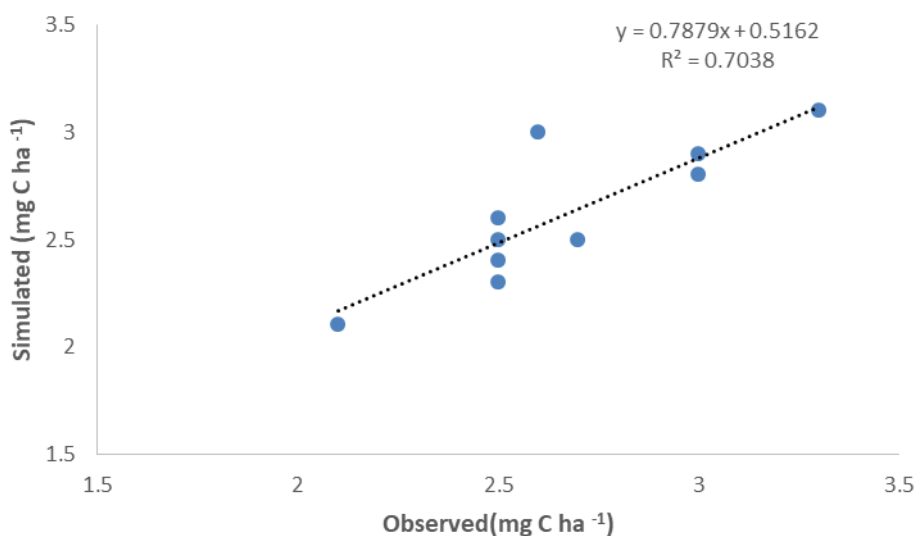
n	RMSE (%)	رگرسیون خطی		شیب	عرض از مبدا	متغیر
		p	R ²			
۸۴	۲۶/۸۱	≤۰/۰۱	۰/۹۲	۱/۰۶	۰	بیوماس پنبه (Mg C ha ⁻¹)
۳۶	۱۰/۵۱	≤۰/۰۱	۰/۷۰	۰/۷۸	۰	عملکرد پنبه (Mg C ha ⁻¹)
۱۴	۷۴/۷۳	≤۰/۰۱	۰/۷۷	۱/۲۲	۰	تصعید روزانه NH ₃ (Kg N ha ⁻¹ d ⁻¹)
۱۲	۱۸/۴۵	≤۰/۰۱	۰/۹۵	۱/۲۴	۰	انتشار سالانه N ₂ O (Kg N ha ⁻¹ yr ⁻¹)

تغییرات بیوماس بالا زمینی و عملکرد
تغییرات زیست توده هوایی شبیه سازی شده برای گندم و پنبه به طور کلی نزدیک به مشاهدات مزرعهای بود (شکل ۳). همان طور که مشاهدات نشان داد، زیست توده هوایی گندم در زمستان بسیار کم بود و بعد از آمدن بهار به طور چشم گیری افزایش پیدا کرد، در حالی که در پنبه با شیب متناسبی در طول رشد گیاه افزایش یافت. این مدل با موفقیت این پویایی را شبیه سازی کرد. رگرسیون خطی مقادیر شبیه سازی بیوماس هوایی پنبه در مقابل مشاهدات، R² برابر با ۰/۹۲ و شیب ۱/۰۶

را نشان می دهد که نشان دهنده یک تطابق خوب است. از نتیجه شبیه سازی، RMSE برابر با ۲۶/۸۱٪ به دست آمد (جدول ۲).
شکل ۴ عملکردهای شبیه سازی شده و مشاهده شده پنبه را در سه تیمار بین سالهای ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ مقایسه می کند. همان طور که رگرسیون خطی نشان می دهد بین شبیه سازی ها و مشاهدات در عملکرد با R² برابر با ۰/۷۰ و شیب ۰/۷۸ (P < 0.01) تطابق خوبی وجود دارد. مقادیر RMSE نیز ۱۰/۵۱٪ بود (جدول ۲).



شکل ۳- میانگین بیوماس مشاهده شده و شبیه سازی شده در تناوب گندم-پنبه از آذر ۱۳۹۴ تا آذر ۱۳۹۶

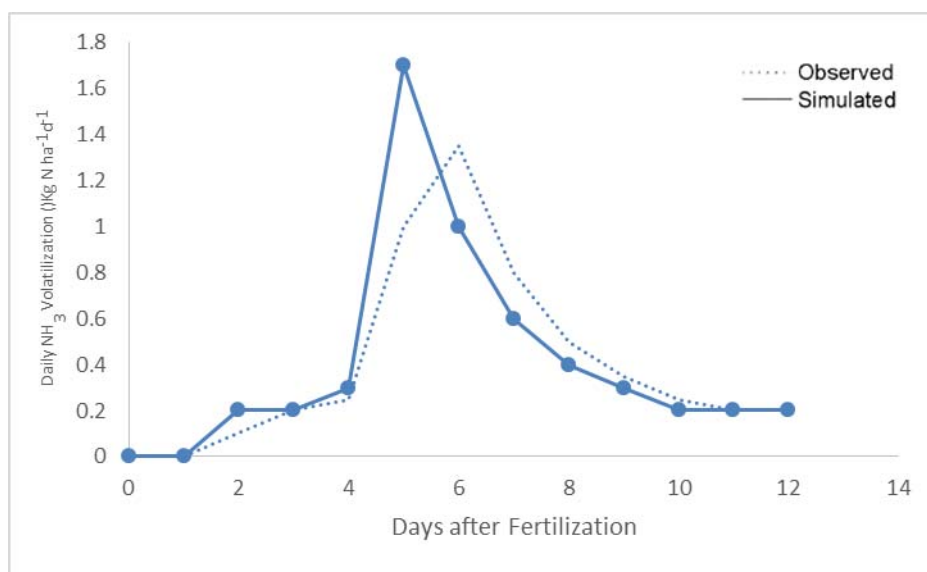


شکل ۴- همبستگی مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده میانگین عملکرد پنبه طی پنج سال مطالعه

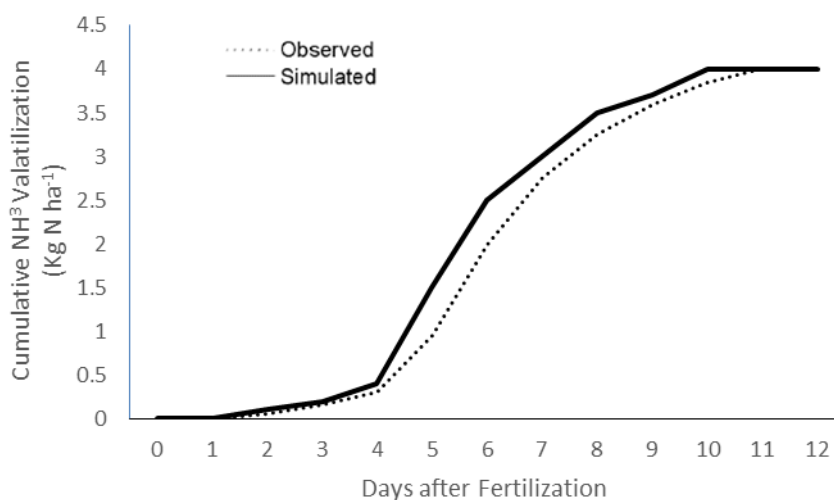
انتشار آمونیاک (NH_3) از خاک

در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب انتشار روزانه و تجمعی آمونیاک (NH_3) از خاک در مقابل روزهای پس از مصرف کود نیتروژن در تیمار خاکورزی مرسوم مشخص و شبیه‌سازی شده است. همان‌طور که شکل‌ها نشان می‌دهد، الگوی تغییرات جریان شبیه‌سازی شده منطبق بر مقادیر مشاهده شده بود، هرچند شبیه‌سازی مدل، پیک جریان در روز پنجم بعد از کوددهی را بیش از پیش افزایش داده و در سه روز ابتدایی

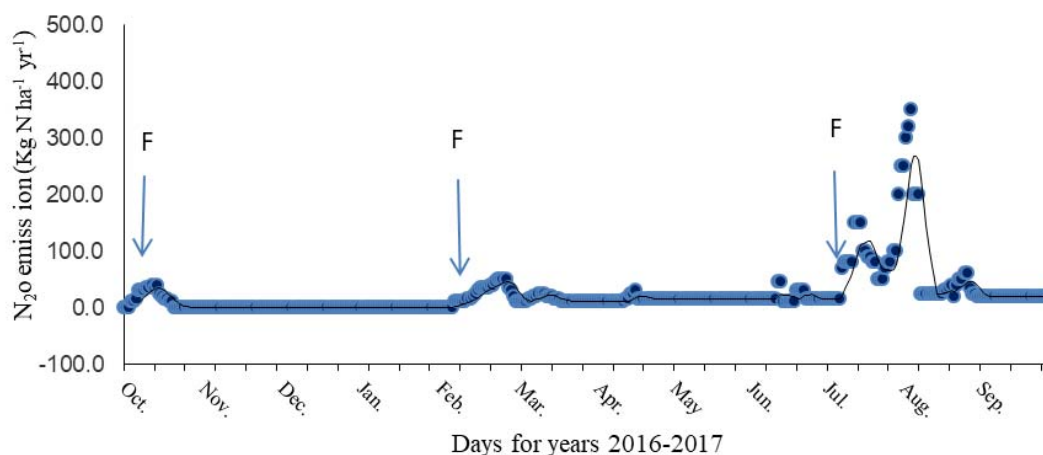
جریان‌ات را ناچیز نشان داد. علی‌رغم این تفاوت‌ها، شبیه‌سازی مدل، یک انتشار تجمعی از NH_3 برابر با ۳/۷۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را در نتیجه عملیات کوددهی بدست آورد، که تقریباً ۴٪ بالاتر از مقدار مشاهده شده ۳/۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. رگرسیون خطی مقادیر شبیه‌سازی در برابر مشاهده شده انتشار روزانه NH_3 ، R^2 برابر با ۰/۷۷ و شیب P (۱/۲۲) < 0.01 بدست آمد. مقدار RMSE نیز برابر با ۷۴/۷۳٪ به دست آمد (جدول ۲).



شکل ۵- تصعید روزانه مشاهده شده و شبیه سازی شده NH_3



شکل ۶- تصعید تجمعی مشاهده شده و شبیه سازی شده NH_3



شکل ۷- جریانات مشاهده شده و شبیه سازی شده روزانه N_2O تیمار خاکورزی مرسوم (F زمان کوددهی است).

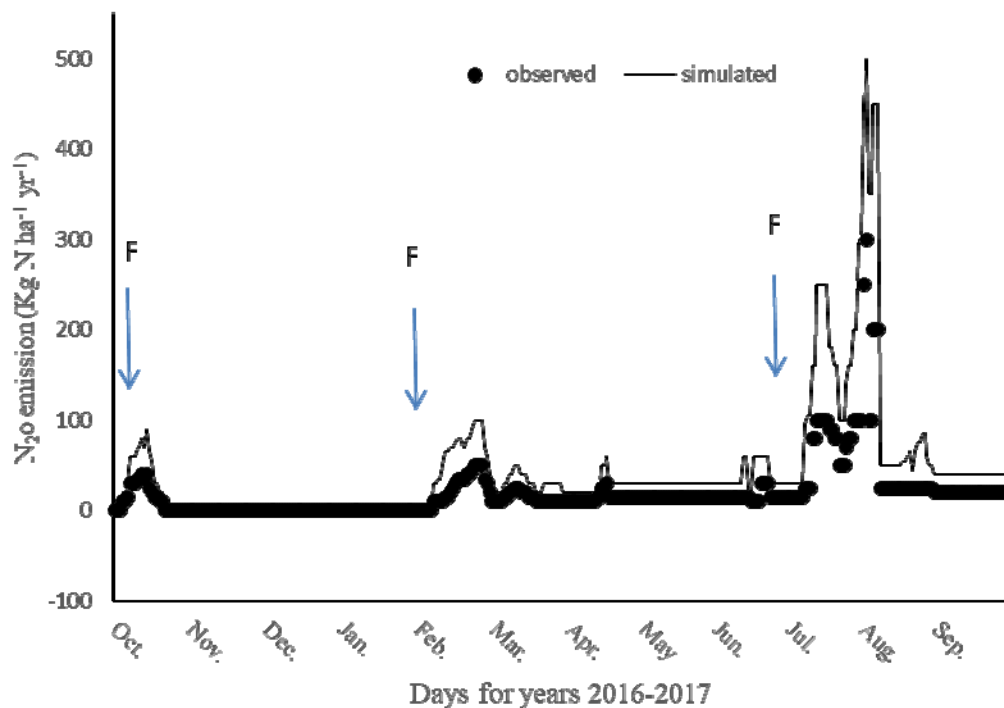
DNDC به طور کلی الگوی زمانی جریانات روزانه N_2O را نشان داد، گرچه اختلاف‌هایی در مقدار برخی از انتشارهای میزان پیک N_2O وجود داشت.

در ۳ تیمار خاکورزی اعمال شده، میزان انتشار سالانه N_2O مشاهده شده از ۲/۰۹ تا ۵/۵۷ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، با میانگین ۳/۷۰ کیلوگرم در نوسان بود (شکل ۹). در تطابق با مشاهدات، شبیه‌سازی‌های مدل برای انتشار سالانه N_2O در تیمارهای خاکورزی مختلف از ۲/۶۷ تا ۶/۹۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با مقدار میانگین ۴/۰۲ کیلوگرم تغییر کرد. مقایسه بین انتشارات محاسبه شده و مشاهده شده N_2O در تیمارهای

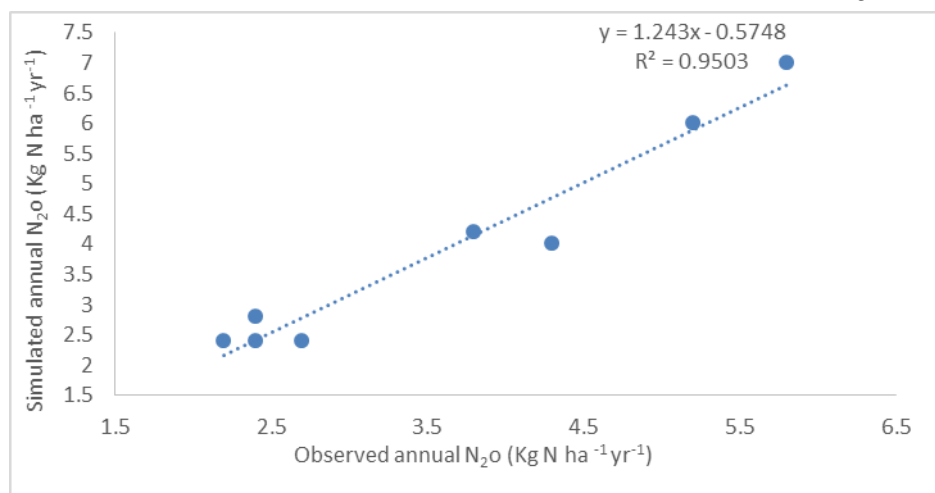
انتشار اکسید نیتروز (N_2O) از خاک

شکل‌های ۷ و ۸ مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده انتشارات روزانه اکسید نیتروز (N_2O) را از مهر ۱۳۹۴ تا مهر ۱۳۹۵ برای تیمارهای خاکورزی مرسوم و بی‌خاکورزی نشان می‌دهد. جریانات روزانه N_2O مشاهده شده در هر سال بسیار متغیر بودند. بالاترین مقادیر معمولاً پس از کوددهی، آبیاری (به ویژه پس از مصرف کود) و بارندگی سنگین نمایان شد. انتشار CO_2 از خاک بستگی به دمای خاک دارد، در حالی‌که انتشار N_2O عمدتاً با بارندگی، وابستگی شدید نشان می‌دهد (آلمارز و همکاران، ۲۰۰۹). در مقایسه با جریانات مشاهده شده، مدل

مختلف، R^2 برابر با ۰/۹۵ با شیب معنی دار ($P < 0.01$) معادل سازی انتشار N_2O برابر با ۱۹/۴۵٪ به دست آمد (جدول ۲).
 ۱/۲۴ برای رگرسیون خطی داشت. مقدار RMSE برای شبیه‌سازی -



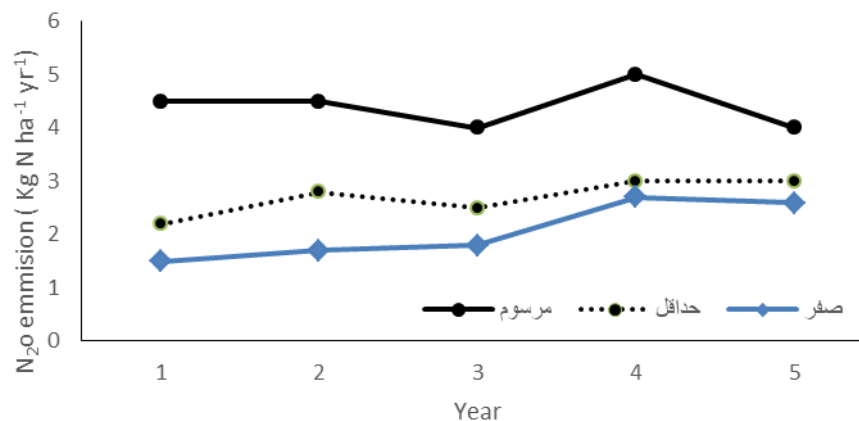
شکل ۸- جریانات مشاهده شده و شبیه سازی شده روزانه N_2O تیمار بی خاک‌ورزی (F زمان کوددهی است).



شکل ۹- انتشار تجمعی سالانه مشاهده شده و شبیه سازی شده N_2O

همانطور که نتایج فوق نشان می‌دهد، انتشارات سالانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده N_2O ، به‌رغم طیف وسیعی از شیوه‌های مدیریتی، انطباق و ثبات نشان دادند. این نشان می‌دهد که شبیه‌سازی مدل توانسته است شیوه‌های مختلف مدیریت بر انتشار این گاز را به خوبی برآورد کند.

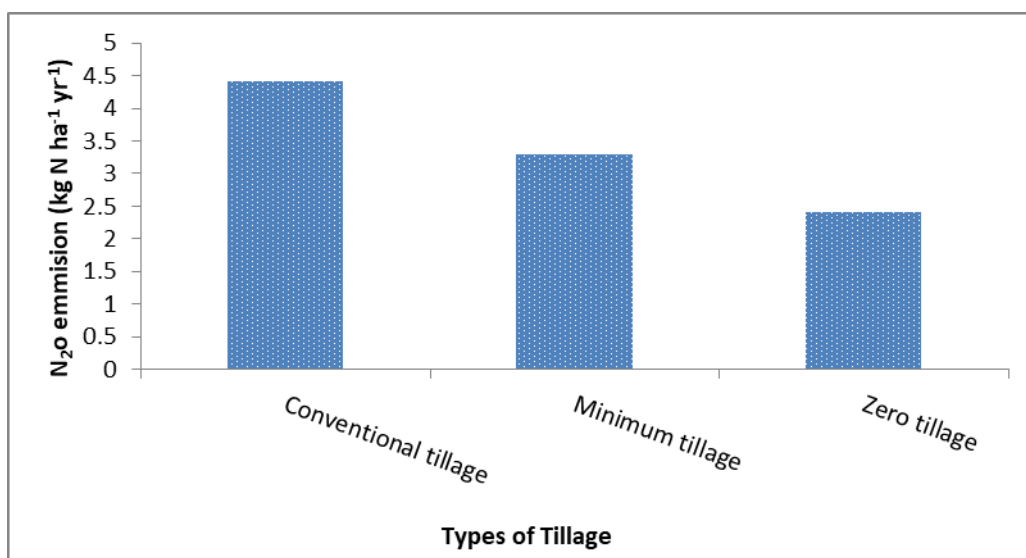
میزان انتشار N_2O در تیمار خاکورزی مرسوم با میانگین سالانه $4/41$ در برابر $2/8$ و $2/14$ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال به ترتیب برای کم خاکورزی و بی خاکورزی در تمامی سال‌های بررسی بیشتر بود (شکل ۱۰). انتشار سالانه این گاز برای هر سه تیمار، تغییرات زیادی با ضریب تغییرات ۲۵-۲۸٪ برای N_2O بین سال‌های مختلف نشان داد.



شکل ۱۰- میزان انتشار N_2O شبیه سازی شده در تیمارهای مختلف خاکورزی در پنج سال بررسی

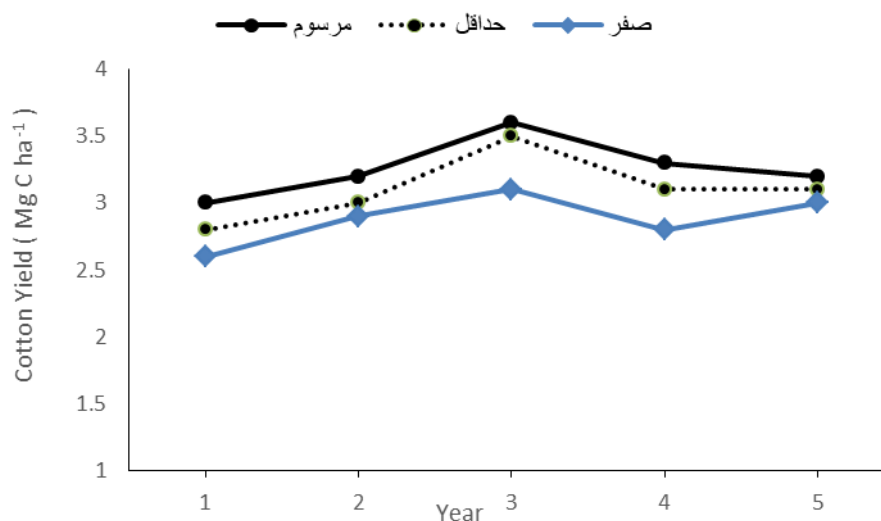
نتایج بسیاری از پژوهش‌های سایر محققین در مورد کاربرد کشاورزی حفاظتی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک در دسترس است، اما این گزارشات بسیار متناقض می‌باشند. در مطالعه‌ای، بکارگیری کشاورزی مرسوم در مزرعه ذرت بر انتشار CO_2 و N_2O در مقایسه با کاربرد کشاورزی حفاظتی تفاوتی نداشت (جانسون و باربور، ۲۰۱۰)، در مطالعاتی دیگر، کشاورزی مرسوم باعث کاهش میزان انتشار N_2O از خاک شد (دندوون و همکاران، ۲۰۱۲؛ سینگ و همکاران، ۲۰۰۸)، و یا کاربرد کشاورزی حفاظتی در مزرعه، انتشار N_2O را از طریق ورودی‌های جدید نیتروژن در زیست توده گیاهی تحریک کرد (بگس و همکاران، ۲۰۰۳؛ هریسون و همکاران، ۲۰۰۲).

خاکورزی مرسوم بیشترین میزان انتشار N_2O از خاک را در مزرعه پنبه ($4/4$ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال و خاکورزی صفر کمترین میزان $2/1$ کیلوگرم در هکتار در سال) را به خود اختصاص دادند (شکل ۱۱). به نظر می‌رسد که پس از بارندگی و آبیاری، بقایایی که در هنگام شخم در خاکورزی مرسوم با خاک مخلوط شده‌اند، سریع‌تر تجزیه شده و نیتروژن آزاد شده برای انجام دنیتریفیکاسیون و تولید N_2O بیشتر از روش خاکورزی حفاظتی در دسترس می‌باشد. انتشار N_2O از خاک تحت خاکورزی حفاظتی نیز می‌تواند کاهش (دندوون و همکاران، ۲۰۱۲)، یا افزایش یابد (بگس و همکاران، ۲۰۰۳؛ یوسیری و همکاران، ۲۰۰۹)، و یا اینکه بدون تغییر باقی بماند (المی و همکاران، ۲۰۰۳؛ جاننالیو و همکاران، ۲۰۰۸؛ اومانوده و همکاران، ۲۰۰۷؛ اسمیت و همکاران، ۲۰۱۱).

شکل ۱۱- میزان انتشار سالیانه N_2O در روش های مختلف خاکورزی مزرعه پنبه

نتایج برخی محققین نیز منطبق بر نتایج پژوهش حاضر بود؛ چنانچه اسپی و همکاران (۲۰۱۱) و آلمارز و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعات خویش نیز تفاوت معنی داری را بین خاکورزی مرسوم و کاهش خاکورزی یافتند، چنانچه کاهش شخم باعث کاهش انتشار N_2O در تمامی سناریوهای مورد بررسی آنها شد. همچنین گرند و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش نمودند که نتیجه تغییر مدیریت مزرعه از خاکورزی مرسوم به شخم صفر، کاهشی در حدود ۱۷٪ در میانگین وزنی انتشار N_2O برای کل دوره سی ساله مطالعه آنها در کشورکانادا بود.

نتایج حاصل از شبیه سازی عملکرد متوالی ۵ ساله برای تیمارهای مورد بررسی در شکل ۱۲ نمایش داده شده، و بیان می کند که روش های خاکورزی برای کشت پنبه از نظر عملکرد به ترتیب شامل خاکورزی مرسوم، خاکورزی حداقل و بی خاکورزی بدون اختلاف معنی دار می باشند (به ترتیب با میانگین های ۳/۲۶، ۳/۱۰ و ۲/۸۸ Mg کربن در هکتار).



شکل ۱۲- مقایسه عملکرد پنبه در تیمارهای مختلف خاکورزی در پنج سال بررسی

نتیجه گیری

مدل DNDC بر اساس اعتبارسنجی با متغیرهای محدود مشاهدات برای سیستم های کشاورزی بسیاری از کشورها مورد آزمایش و کاربرد قرار گرفته است (گیلتراپ و همکاران، ۲۰۱۰). در این مطالعه از طریق شبیه سازی مدل، با استفاده از اندازه گیری های دما و رطوبت

خاک، رشد و عملکرد محصول و انتشارات NH_3 و N_2O تحت تیمارهای مختلف خاکورزی مزرعه در تناوب کشت گندم-پنبه مدل DNDC اعتبارسنجی شد. علی‌رغم اختلافاتی در شبیه‌سازی‌های روزانه نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل در شبیه‌سازی محیط خاک و انتشار گازها به خوبی عمل می‌کند.

در منطقه داراب فارس، معمولاً پخش سطحی کود پایه و عملیات خاکورزی در یک زمان و بلافاصله بعد از خاکورزی انجام می‌شود. مدل DNDC بصورت روزانه اجرا می‌شود و قبل از کوددهی، خاکورزی اتفاق می‌افتد، بدین معنی که اگر کوددهی و خاکورزی طوری تنظیم شود که در یک روز اتفاق بیفتد، کود به خاک وارد می‌شود. این امر تا حد زیادی باعث کاهش انتشار NH_3 و در نتیجه فرایندهای دیگر چرخه نیتروژن خواهد شد (کی و همکاران، ۲۰۰۳). به‌منظور حل این مشکل، می‌توان به سادگی روز خاکورزی را یک روز بعد از کوددهی (انجام شده در این مطالعه) تعیین نمود.

بیشترین انتشار N_2O در بهار با ادامه بارندگی‌ها و کوددهی اولیه به پنبه صورت گرفت. انتشار در سال دوم نسبت به سال اول زیادتر بود و برای خاکورزی مرسوم بیشتر از خاکورزی حفاظتی بود که به‌نظر می‌رسد به دلیل معدنی‌شدن سریعتر بقایا در خاکورزی مرسوم نسبت به خاکورزی حفاظتی که بقایا در سطح خاک حفظ می‌شوند، باشد.

دمای خاک در سیستم بی‌خاکورزی از سایر تیمارهای خاکورزی‌ها کمتر بود (به‌طور میانگین ۱ درجه سانتی‌گراد). همچنین در تمامی اندازه‌گیری‌ها، سیستم بی‌خاکورزی رطوبت بیشتری نسبت به خاکورزی مرسوم و حداقل داشت (به‌طور میانگین ۱-۳ درصد).

در کل، نتایج آزمایش نشان داد که سیستم‌های خاکورزی اثر معنی‌داری بر انتشار N_2O از مزرعه پنبه داشتند، به‌طوری‌که این خصوصیت در روش خاکورزی صفر با کاهش روبرو شد. نتایج ما با گزارشات سایر محققین نیز هم‌خوانی دارد (لی و همکاران، ۲۰۱۰؛ چن و همکاران، ۲۰۱۶). به‌نظر می‌رسد که حفظ بقایای گندم در تیمارهای کشت حفاظتی (بی‌خاکورزی و کشت حداقل) در مزرعه پنبه می‌تواند بر انتشار N_2O از خاک تاثیر بگذارد، چنانچه نگهداری بقایای گندم در کشت حفاظتی در مزرعه پنبه سبب کاهش انتشار گاز ذکر شده گردید.

می‌توان نتیجه گرفت که شخم حفاظتی علاوه بر کاهش میزان انتشار گاز آلاینده N_2O و NH_3 در کشت پنبه در تناوب گندم - پنبه در داراب از نظر اقتصادی با توجه به صرفه‌جویی در سوخت، زمان، هزینه تولید، استهلاک ماشین آلات، فرسایش خاک، نیروی انسانی و قابل توجیه است. در مجموع، مطالعه حاضر کاهش خاکورزی را امری لازم در جهت بهبود صفات مورد مطالعه می‌داند، چنانچه تیمار بی-خاکورزی در مزرعه پنبه، با توجه به مطلوب‌تر بودن آن نسبت به سایر تیمارهای تهیه بستر کشت پنبه در کشت دوگانه گندم-پنبه در شرایط مشابه با مطالعه حاضر، می‌تواند قابل توصیه باشد.

منابع

- محمدی، خ، غ، ر. حیدری، م. جواهری و م. آقاعلیخانی. ۱۳۹۱. تاثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و کوددهی بر توده زنده میکروبی و فعالیت آنزیمی خاک در زراعت آفتابگردان. *مجله آب و خاک (علوم و صنایع غذایی)*. جلد ۲۶، شماره ۱: ۱۱۳-۱۰۴.
- Almaraz, J. J., F. Mabood, X. M. Zhou, C. Madramootoo, P. Rochette, B. L. Ma, and D. L. Smith. 2009. Carbon dioxide and nitrous oxide fluxes in corn grown under two tillage systems in southwestern Quebec. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 113-119.
- Baggs, E. M., M. Stevenson, M. Pihlatie, A. Regar, H. Cook and G. Cadisch. 2003. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. *Biol. Fert. Soils.* 254: 361-370.
- Bayer, C., F. D. Costa, G. M. Pedroso, T. Zschornack, E. S. Camargo, M. A. de Lima, R. T. S. Frigheto, J. Gomes, E. Marcolin and V. R. M. Macedo. 2014. Yield-scaled greenhouse gas emissions from flood irrigated rice under long-term conventional tillage and no-till systems in a humid subtropical climate. *Field Crops Res.* 162: 60-69.
- Boeckx, P., Van K. Nieuland, and Van O. Cleemput. 2011. Short-term effect of tillage intensity on N_2O and CO_2 emissions. *Agron. Sustain. Dev.* 31: 453-461.
- Bureau, J., A. Gossel, B. Loubet, P. Laville, R. Massad, E. Haas, K. Butterbach-Bahl, C. Guimbaud and C. Hénault. 2017. Evaluation of new flux attribution methods for mapping N_2O emissions at the landscape scale. *Agri. Ecosys. and Environ.* 247: 9-22.
- Cai, Z., T. Sawamoto, C. Li, G. Kang, J. Boonjawat, A. Mosier, R. Wassmann and H. Tsuruta. 2003. Field validation of the DNDC model for greenhouse gas emissions in East Asian cropping systems. *Global Biogeochemical Cycles.* 17: 1107-1117.

- Charles, A., P. Rochette, J. Whalen, D. A. Angers, M. H. Chantigny and N. Bertrand. 2017. Global nitrous oxide emission factors from agricultural soils after addition of organic amendments: A meta-analysis. *Agri. Ecosys. and Environ.* 236: 88-98.
- Chatskikh, D., J. R. E. Olesen, E. M. Hansen, L. Elsgaard, and B. R. M. Petersen. 2008. Effects of reduced tillage on net greenhouse gas fluxes from loamy sand soil under winter crops in Denmark. *Agri. Ecosys. and Environ.* 128: 117-126.
- Chen, H., C. Yu, C. Li, Q. Xin, X. Huang, J. Zhang, Y. Yue, G. Huang, X. Li and W. Wang. 2016. Modeling the impacts of water and fertilizer management on the ecosystem service of rice rotated cropping systems in China. *Agri. Ecosys. and Environ.* 219: 49-57.
- Ciais, P., C. Sabine, G. Bala, L. Bopp, V. Brovkin, J. Canadell, A. Chhabra, R. DeFries, J. Galloway, M. Heimann, C. Jones, Le Quéré, C. R. B. Myneni, S. Piao and P. Thornton. 2013. Carbon and other biogeochemical cycles. In: Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp. 465-570.
- Dendooven, L., L. Patino-Zuniga, N. Verhulst, M. Luna-Guido, R. Marsch, and B. Govaerts. 2012. Global warming potential of agricultural systems with contrasting tillage and residue management in the central highlands of Mexico. *Agri. Ecosys. and Environ.* 152: 50-58.
- Deng, X., X. Chen, W. Ma, Z. Ren, M. Zhang, M. L. Grieneisen, W. Long, Z. Ni, Y. Zhan and X. Lv. 2018. Baseline map of organic carbon stock in farmland topsoil in East China. *Agri. Ecosys. and Environ.* 254: 213-223.
- Elmi, A. A., C. Madramootoo, C. Hamel, and A. Liu. 2003. Denitrification and nitrous oxide to nitrous oxide plus dinitrogen ratios in the soil profile under three tillage systems. *Biol. Fertil. Soils.* 38: 340-348.
- Fang, Q. X., L. Ma, A. D. Halvorson, R. W. Malone, L. R. Ahuja and S. J. Del Grosso. 2015. Evaluating four nitrous oxide emission algorithms in response to N rate on an irrigated corn field. *Environ. Model. Software.* 72: 56-70.
- Fittona, N., A. Dattab, J. M. Cloyc, R. M. Reesc, C. F. E. Toppe, M. J. Belle, L. M. Cardenasd, J. Williamse, K. Smithe, R. Thormane, C. J. Watsong, K. L. McGeoughg, M. Kuhnerta, A. Hastingsa, S. Anthonye, D. Chadwickf and P. Smitha. 2017. Modelling spatial and inter-annual variations of nitrous oxide emissions from UK cropland and grasslands using DailyDayCent. *Agri. Ecosys. and Environ.* 250: 1-11.
- Franquevillea, D., C. Benhamoua, C. Pasquierb, C. Hénaultb and J. L. Droueta. 2018. Modelling reactive nitrogen fluxes and mitigation scenarios on a landscape in Central France. *Agri. Ecosys. and Environ.* 246: 92-110.
- Giltrap, D. L., C. Li and S. Saggar. 2010. DNDC: A process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soils. *Agri. Ecosys. and Environ.* 136: 292-300.
- Grant, B., W. N. Smith, R. Desjardins, R. Lemke and C. Li. 2004. Estimated N₂O and CO₂ emissions as influenced by agricultural practices in Canada. *Clim. Change.* 65: 315-332.
- Harrison, R., S. Ellis, R. Cross and J. H. Hodgson. 2002. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide associated with the decomposition of arable crop residues on a sandy loam soil in Eastern England. *Agronomie (France).* 22: 731-738
- Jantalia, C. P., H. P. Dos Santos, S. Urquiaga, R. M. Boddey and B. J. R. Alves. 2008. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. *Nutr. Cycl. in Agroecosys.* 82: 161-173.
- Johnson, J. M. F. and N. W. Barbour. 2010. Crop yield and greenhouse gas responses to stover harvest on glacial till Mollisol. 19th World Congress of Soil Science: Soil solutions for a changing world. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia. Pp 36-39.
- Li, C. 1995. Impact of agricultural practices on soil C storage and N₂O emissions in 6 states in the US. In: *Advances in Soil Science* (eds. R. Lai *et al.*), Soil Management and Greenhouse Effect. USA, CRC Press. Pp.101-112.
- Li, C. 2000. Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems. *Nutr. Cycl. in Agroecosys.* 58: 259-276.
- Li, C. 2009. User's Guide for the DNDC Model (Version 9.3). Report of the Institute for the Study of Earth, Oceans and Space. (Durham, NH, USA).

- Li, C., S. Frolking and R. Harriss. 1994. Modeling carbon biogeochemistry in agricultural soils. *Global Biogeochemical Cycles*. 8: 237-254.
- Li, H., J. Qiu, L. Wang, H. Tang, C. Li and E. Van Ranst. 2010. Modelling impacts of alternative farming management practices on greenhouse gas emissions from a winter wheat–maize rotation system in China. *Agri. Ecosys. and Environ.* 135: 24-33.
- Liang, L. L., D. I. Campbell, A. M. Wall and L. A. Schipper. 2018. Nitrous oxide fluxes determined by continuous eddy covariance measurements from intensively grazed pastures: Temporal patterns and environmental controls. *Agri. Ecosys. and Environ.* 268: 171-180.
- Liu, C., M. Lu, J. Cui, B. Li and C. Fang. 2014. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis. *Global Change Biol.* 20: 1366–1381.
- Mielenz, H., P. J. Thorburn, C. Scheer, M. D. A. Migliorati, P. R. Grace and M. J. Bell. 2016. Opportunities for mitigating nitrous oxide emissions in subtropical cereal and fiber cropping systems: A simulation study. *Agri. Ecosys. and Environ.* 218: 11-27.
- Omonode, R. A., T. J. Vyn, D. R. Smith, P. Hegymegi and A. Gal. 2007. Soil carbon dioxide and methane fluxes from long term tillage systems in continuous corn and corn–soybean rotations. *Soil Till. Res.* 95: 182–195.
- Pandey, D., M. Agrawal and J. S. Bohra. 2012. Greenhouse gas emissions from rice crop with different tillage permutations in rice–wheat system. *Agri. Ecosys. and Environ.* 159: 133–144.
- Pandey, D., M. Agrawal and J. S. Bohra. 2013. Impact of four tillage permutations in rice–wheat system on GHG performance of wheat cultivation through carbon footprinting. *Ecological Engineering*. 60: 261–270.
- Paul, E. A. 2007. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*: (3rd ed.). Academic Press, London, UK.
- Rinaldi, M., N. Losavio and Z. Flagella. 2003. Evaluation and application of the OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. *Agric. Sys.* 78: 17-30.
- Rochette, P., M. Angers, H. Chantigny and N. Bertrand. 2008. N₂O emissions respond differently to no-till in a loam and a heavy clay soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 1363-1369.
- Singh, B., Y. H. Shan, S. E. Johnson-Beebout, Y. Singh and R. J. Buresh, 2008. Crop residue management for lowland rice based cropping systems in Asia. *Adv. Agron.* 98: 117–199.
- Smith, D. R., G. Hernandez-Ramirez, S. D. Armstrong, D. L. Bucholtz and D. E. Stott. 2011. Fertilizer and tillage management impacts on noncarbon dioxide greenhouse gas emissions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 1070–1082.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. Mccarl, S. Ogle, F. O'Mar, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider and S. Towprayoon. 2007. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agri. Ecosys. and Environ.* 118: 6-28.
- Song, X. D., J. Y. Yang, M. S. Zhao, G. L. Zhang, F. Liu and H. Y. Wu. 2019. Heuristic cellular automaton model for simulating soil organic carbon under land use and climate change: A case study in eastern China. *Agri. Ecosys. and Environ.* 269: 156-166.
- Syp, A., A. Faber, J. Kozyra, R. Borek, R. Pudelko, M. Borzęcka-Walker and Z. Jarosz. 2011. Modeling impact of climate change and management practices on greenhouse gas emissions from arable soils. *Pol. J. Environ. Stud.* 20: 1593-1602.
- Ussiri, D. A. N. and R. Lal. 2009. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an Alfisol in Ohio. *Soil Till. Res.* 104: 39–47.
- Uzoma, K. C., W. Smith, B. Grant, R. L. Desjardins, X. Gao, K. Hanis, M. Tenuta, P. Goglio and C. Li. 2015. Assessing the effects of agricultural management on nitrous oxide emissions using flux measurements and the DNDC model. *Agri. Ecosys. and Environ.* 206: 71–83.
- Zhang, L., J. Zheng, L. Chen, M. Shen, X. Zhang, M. Zhang, X. Bian, J. Zhang and W. Zhang. 2015. Integrative effects of soil tillage and straw management on crop yields and greenhouse gas emissions in a rice–wheat cropping system. *Euro. J. Agron.* 63: 47–54.
- UNEP. 2013. *Drawing down N₂O. To Protect Climate and the Ozone Layer.*

Effects of tillage methods on nitrous oxide (N₂O) and ammonia (NH₃) emission in cotton-wheat rotation in Darab area

A. Gheisari¹, M.R. Asgharipour², S.M. Mousavi Nik², S.A. Ghanbari²

Received: 2019-12-26 Accepted: 2020-20-14

Abstract

Conventional tillage methods with no yield increase lead to the loss of resources and emission of greenhouse gases into the environment. To determine the effects of different tillage methods on nitrous oxide (N₂O) and ammonia (NH₃) emissions in cotton-wheat rotation, an experiment was designed as a randomized complete block including three treatments with four replications at Darab Agricultural Research Station during 5 years. The treatments consisted of direct drilling (no tillage), minimum tillage, and conventional tillage (as control). After harvesting wheat in the no and minimum tillage treatments, 30% (weight) of wheat residues was retained on the field. N₂O and NH₃ emissions from the cotton-wheat field were estimated using the DNDC 9.5 model in the last two years. Data of three initial years of the research were used for model validation. Results of model validation showed that the model worked well in simulating the soil environment and N₂O and NH₃ emissions. The simulation results revealed that the highest and lowest N₂O emission rates was achieved under conventional and no-tillage treatments, respectively. Average annual N₂O emissions of 4.40, 2.80, and 2.14 kg N/ha/y were recorded in conventional, minimum, and no-tillage treatments, respectively. According to simulation results, peak emission of NH₃ from soil occurred on five days after each fertilization in all three treatments. In general, results showed that no-tillage method was more favorable than other cotton cultural practices in cotton-wheat rotation in conditions similar to the present study.

Keywords: Greenhouse gas emissions, no-tillage, global warming, denitrification, DNDC model, nitrogen cycle

1- Ph.D. Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran

2- Associated Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran