

آزمایش‌های بلند مدت، ضرورتی برای ارزیابی روش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک

سید علی غفاری نژاد^۱

استادیار پژوهش و عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

Ma_ghaffari51@yahoo.com

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۶ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۶

چکیده

با توجه به اهمیت حاصلخیزی خاک در تامین غذا، استفاده از روش‌های مناسب پایش تغییرات دراز مدت ویژگی‌های خاک ضروری است. آزمایش‌های دراز مدت خاک آزمایش‌های مزرعه‌ای با کرت‌های دائم هستند که به طور منظم از آنها نمونه برداری می‌شود تا تغییرات خاک را در دوره زمانی دهه ثبت و مورد استفاده قرار دهند. این مقاله به منظور آشنایی با آزمایش‌های دراز مدت حاصلخیزی خاک در قالب کرت‌های دائم و گردآوری اطلاعاتی در مورد تاثیر دراز مدت روش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک بر ویژگی‌های خاک به رشته تحریر درآمده است. بسیاری از آزمایش‌های مربوط به کرت‌های دائم به بررسی وضعیت کربن خاک در دوره‌های دراز مدت پرداخته‌اند. نتایج این آزمایش‌ها نشان می‌دهد استفاده مداوم از مواد آلی در زمین‌های زراعی منجر به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و فعالیت‌های بیولوژیک خاک می‌شود. از سوی دیگر اصلاح کننده‌های آلی می‌توانند منبع آلودگی محیط نیز باشند بویژه زمانی که به طور صحیح استفاده نشوند. آزمایش‌های درازمدت محدودی در ایران انجام شده است. اغلب این آزمایش‌ها اثر باقیمانده کودهای حاوی فسفر، روی و تعادل پتاسیم را مورد بررسی قرار داده‌اند. با توجه به انجام نشدن آزمایش‌های منسجم و محدودیت اطلاعات در این زمینه - ها در ایران برنامه‌ریزی برای اجرای این آزمایش‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از سوی دیگر ارزیابی آزمایش‌های دراز مدت نشان داد استفاده از روش‌های مختلف به منظور افزایش ترسیب کربن در خاک مانند استفاده از کودهای دامی، اجرای تناوب زراعی مناسب و جلوگیری از خاک ورزی شدید باید اجرا شود. بررسی‌ها نشان داد تلفیق کودهای شیمیایی به همراه منابع آلی و زیستی نتایج مطلوبی در افزایش تولید فرآورده‌های کشاورزی و پایداری حاصلخیزی خاک داشته است.

واژه‌های کلیدی: کربن آلی، کرت ثابت، ویژگی‌های خاک.

۱- آدرس نویسنده مسئول: موسسه تحقیقات خاک و آب کرج.

مقدمه

به اطلاعات اساسی دست یافت که معمولا با آزمایش‌های کوتاه مدت قابل دستیابی نمی‌باشند.

این آزمایش‌ها مشاهدات و اطلاعات مستقیم برای پاسخگویی به سوالاتی در مورد چگونگی و چرایی تغییرات خاک به ما می‌دهد (هاف ماکل و همکاران، ۲۰۰۷ و گامی و همکاران، ۲۰۰۱). از این آزمایش‌ها برای ارزیابی تاثیر کشت مداوم بر پایداری فراهمی عناصر غذایی در خاک و به دنبال آن پایداری تولید یک سیستم زراعی استفاده می‌شود. نتایج این آزمایش‌ها می‌تواند در توسعه کشاورزی و مسایل محیط زیستی استفاده شود و اهمیت آنها در پاسخ به سوالاتی است که در آینده در زمینه کشاورزی و محیط زیست وجود می‌آید. با توجه به اینکه گذشت زمان سبب وجود آمدن شرایط متفاوت در خاک‌های گوناگون شده است، این مزارع تحقیقاتی می‌توانند برای پاسخ به سوالات پیچیده به کار روند. همچنین نتایج آزمایش‌های انجام شده در این مزارع می‌تواند در وجود آوردن و اعتبار بخشی مدل‌ها مورد استفاده قرار گیرد (هیدبورن، ۲۰۰۷).

آزمایش‌های دراز مدت نقش اساسی در بهبود تولید غذا و مدیریت خاک در دهه‌های آینده دارند. این روش‌ها می‌توانند به ارزیابی سیستم‌های زراعی جدید که حداقل تاثیر بر روی محیط را دارند کمک کنند و به منظور بررسی عملکرد کمی و کیفی، پایداری خاک و تاثیرات محیطی طراحی شوند. این آزمایش‌ها می‌توانند اختار اولیه در زمینه تهدیدات ناشی از تولید محصولات کشاورزی را در آینده صادر کنند و به عنوان شاخص‌های پیشرو برای پایداری تولید و اختار اولیه کاهش عملکرد به کار می‌روند. در این شرایط محققان این شانس را دارند که عوامل موثر بر تولید را قبل از آنکه در مزارع کشاورزان خود را نشان دهد ارزیابی کنند. این آزمایش‌ها می‌تواند به منظور افزایش بهره‌وری خاک در مناطقی که در آن حاصلخیزی خاک در حال کاهش است اجرا شود (هاف ماکل و همکاران، ۲۰۰۷). بسیاری تاثیرات مانند ترسیب

خاک به عنوان یک منبع طبیعی تجدید شونده، سیستمی غیرخطی است که از اثرات متقابل واکنش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی بوجود می‌آید (دیاکونو و مونت مورو، ۲۰۱۰). حاصلخیزی خاک را توان کیفی خاک برای تامین عناصر غذایی به مقدار کافی و در توازن مطلوب برای رشد گیاهان یا محصولاتی معین تعریف نموده‌اند (ابطحی و همکاران، ۱۳۷۹). پایداری حاصلخیزی خاک اهمیت زیادی در تامین غذا برای انسان و دام دارد. بنابراین پایش تغییرات حاصلخیزی خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این کار توسط روش‌های مختلف شامل آزمایش‌های کوتاه مدت در مزرعه و آزمایشگاه، تعویض فضا با زمان^۲ (نمونه برداری از مکان‌های جفتی)، نقشه برداری مکرر، مدل سازی کامپیوتری و آزمایش‌های دراز مدت انجام می‌شود (هاف ماکل و همکاران ۲۰۰۷).

آزمایش‌های کوتاه مدت در مزرعه و آزمایشگاه در دوره‌های زمانی کوتاه (کمتر از ده سال) انجام می‌شوند. نقطه ضعف این آزمایش‌ها این است که فقط بخش کوچکی از خاک و نه کل آن را مورد بررسی قرار می‌دهند در نتیجه تعمیم دادن تغییرات این ویژگی‌ها به دوره‌های زمانی طولانی مدت تر مشکل ساز است. در مواردی حتی نتایج حاصل از این آزمایش‌ها در تناقض با آزمایش‌های بلند مدت است (هاف ماکل و همکاران، ۲۰۰۷).

آزمایش‌های دراز مدت خاک آزمایش‌های مزرعه‌ای با کرت‌های دایم هستند که به طور منظم از آنها نمونه برداری می‌شود تا تغییرات خاک را طی مقیاس زمانی دهه، کمی کنند. بررسی تغییرات حاصلخیزی خاک و تاثیر مصرف کودهای شیمیایی و آلی در آزمایش‌های دراز مدت به صورت کرت‌های دایم در جهان سابقه طولانی دارد (دیاکونو و مونت مورو، ۲۰۱۰). در بین محققان کشاورزی در زمینه نیاز به انجام آزمایش‌های دراز مدت برای بررسی تغییرات کند در یک محیط پیچیده از جمله خاک اجماع وجود دارد با انجام این آزمایش‌ها می‌توان

عملکرد گندم در تناوب با آن نشان داد اثر باقیمانده فسفر و پتاسیم بر عملکرد و وزن هزار دانه گندم که بعد از ذرت کشت شده بود معنی‌دار بود و هر چه میزان بیشتری از کودهای فسفر و پتاسیم در کشت قبل مصرف گردید اثر مثبت باقیمانده آن نیز بیشتر بود (میرزاشاهی، ۱۳۸۱). به منظور بررسی تاثیر کاربرد منابع و مقادیر مختلف پتاسیم در تناوب گندم-ذرت-گندم آزمایشی به مدت چهار سال در دو منطقه اهواز و بهبهان اجرا شد. نتایج نشان داد در هر یک از این نقاط یک تیمار خاص بیشترین عملکرد را حاصل نمود؛ بنابراین در توصیه کودهای پتاسیمی توجه به رفتار خاکهای مناطق مختلف ضروری است (موسوی فضل، ۱۳۸۷). بارانی مطلق و همکاران (۱۳۸۲) در مطالعه وضعیت تخلیه پتاسیم اراضی زیر کشت نیشکر در خوزستان گزارش کردند که مقدار پتاسیم تبدلی و غیرتبدالی در خاکهای زیر کشت نیشکر به طور معنی‌داری کمتر از خاکهای کشت نشده بود. فلاح (۱۳۷۵) در بررسی تغییرات مقدار پتاسیم در کشت برنج در کرت‌های ثابت در آزمایشی هفت ساله نشان داد که مقدار پتاسیم از شروع تا موقع برداشت حدود ۳۰ درصد کاهش یافته که این مقدار در دوره نکاشت و تا شروع کشت سال بعد به طور کامل ترمیم یافته است.

میرزاشاهی (۱۳۸۴) گزارش کرد اثر باقیمانده فسفر بر عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته، درصد روغن و جذب فسفر توسط کلزادر تناوب ذرت کلزا معنی‌دار شد. آزمایشی با هفت تیمار پتاسیم (صفر تا ۹۰۰ کیلوگرم K_2O در هکتار) به مدت شش سال بر روی پنبه در منطقه کردکوی نشان داد مقادیر مختلف کود پتاسیم نتوانست تغییر معنی‌داری در پتاسیم قابل جذب خاک ایجاد نماید (صلاحی فراهی، ۱۳۸۴). بررسی شش ساله در خاک‌های زراعی ایستگاه زرقان فارس کاهش سالانه یک میلی گرم در کیلوگرم فسفر قابل استفاده خاک در تیمار بدون مصرف کود فسفره، ثابت ماندن فسفر در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفره در هکتار و افزایش فسفر خاک در

کربن^۳ در خاک و احتمال رسیدن عناصر به حد سمیت یا کمبود به کندی انجام می‌شود، بنابراین نیاز به آزمایش‌های دراز مدت است (تربیرتی و همکاران، ۲۰۱۶).

این مقاله به منظور فراهم آوردن زمینه‌آشنایی با آزمایش‌های دراز مدت حاصلخیزی خاک در قالب کرت‌های دایم و گردآوردی اطلاعاتی در مورد تاثیر دراز مدت روش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک بر ویژگی‌های خاک به رشته تحریر درآمده است و سعی در فراهم کردن مسیر مناسب جهت تحقیقات آینده در این زمینه را دارد. بدین منظور پس از مقدمه ضمن اشاره‌ای کوتاه به مهمترین آزمایش‌های دراز مدت انجام شده در ایران و سایر نقاط دنیا به ارزیابی تغییرات کیفیت خاک در آزمایش‌های دراز مدت پرداخته و تاثیر مدیریت حاصلخیزی خاک بر کربن آلی خاک، ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک خاک و پایداری تولید محصول در درازمدت را مورد ارزیابی قرار داده و در نهایت به نتیجه‌گیری از بررسی‌های انجام شده و ارائه پیشنهادات پرداخته می‌شود.

مهمترین آزمایش‌های درازمدت انجام شده در ایران و سایر نقاط دنیا

آزمایش‌های دراز مدت در ایران به طور بسیار محدود و عمدتاً در مورد یک عنصر غذایی و در مدیریت حاصلخیزی خاک به روش مرسوم اجرا شده‌اند. بیشتر کارهای انجام شده مربوط به بررسی اثرات باقیمانده کودهای حاوی فسفر و روی و تعادل پتاسیم بوده است. فلاح (۱۳۷۴) در بررسی قدرت ترمیم عناصر غذایی در شالیزارهای مازندران در آزمایشی هفت ساله نشان داد قدرت ترمیم فسفر خاک با گذشت زمان کاهش یافت. همچنین کاهش در پتاسیم قابل جذب خاک بوجود نیامد. بررسی توازن (بالانس) پتاسیم در ۳۰ خاک شالیزاری نشان داد غیر از یک مورد در بقیه موارد بالانس پتاسیم منفی است (فلاح و ساداتی، ۱۳۷۷). بررسی اثر باقیمانده فسفر و پتاسیم مصرف شده در زراعت ذرت دانه‌ای بر

حاصلخیزی خاک، ترسیب کربن، اسیدی شدن، چرخه نیتروژن، شستشوی نترات، اثر آلوده کننده‌های هوا و دوام ترکیبات با پتانسیل سمیت در خاک را نشان می‌دهد. (هاف ماکل و همکاران، ۲۰۰۷ و بلیر و همکاران، ۲۰۰۶). این آزمایش‌ها از سال ۱۹۹۵ در قالب یک شبکه جهانی درآمده‌اند (پلسون و همکاران ۱۹۹۸).

گرچه اغلب آزمایش‌های دراز مدت کشاورزی در مناطق توسعه یافته انجام شده اما تعدادی نیز در کشورهای در حال توسعه برای چند دهه انجام شده‌اند که شامل چین، هند و پاکستان هستند (آربول و همکاران، ۱۹۹۷ و تیروول و لاده‌ها، ۲۰۰۶). برخی از مهمترین این آزمایش‌ها مربوط به مزارع برنج هستند که تحت مدیریت متمرکز قرار دارند و کاهش عملکرد و تغییرات خاک را ارزیابی می‌کنند (بندری و همکاران، ۲۰۰۲ و تیروول و لاده‌ها، ۲۰۰۶). اخیراً آزمایش‌های دراز مدت زیادی در آسیا انجام شده است (گامی و همکاران، ۲۰۰۱، بندری و همکاران، ۲۰۰۲ و داو و همکاران، ۲۰۰۳).

ارزیابی تغییرات کیفیت خاک در آزمایش‌های

دراز مدت

تأثیر روش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک بر کربن آلی خاک

اکوسیستم‌های کشاورزی پایدار بر کربن آلی کافی خاک متکی هستند به همین دلیل بسیاری از آزمایش‌های مربوط به کرت‌های دائم به بررسی وضعیت کربن خاک تحت مدیریت‌های مختلف حاصلخیزی خاک در دوره‌های دراز مدت پرداخته‌اند. این ارزیابی با آزمایش‌های کوتاه مدت امکان پذیر نیست و در مواردی نتایج ارزیابی کربن آلی خاک در آزمایش‌های کوتاه مدت در تناقض با آزمایش‌های بلند مدت بوده است (هاف ماکل و همکاران، ۲۰۰۹). به عنوان مثال آزمایش کوتاه مدت نشان داد کاهش میزان ماده آلی خاک در تناوب برنج گندم با سرعت زیاد اتفاق می‌افتد و برون‌یابی این داده‌ها

بقیه تیمارها (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) را نشان داد (ملکوئی و شاهرخ‌نیا، ۱۳۷۹).

تحقیقی چهار ساله در استان فارس با تناوب گندم ذرت به منظور بررسی اقتصادی تأثیر استفاده از کودهای آلی و شیمیایی بر کمیت و کیفیت گندم و ذرت در کرت‌های دائم انجام شد. نتایج نشان داد مصرف کود حیوانی به میزان ۱۰ تن در هکتار نسبت به سایر تیمارها در بازه زمانی آزمایش دارای برتری اقتصادی بود (خوگر و شجری، ۱۳۹۵). بررسی افزایش ماده آلی خاک (از طریق کود سبز) در کاهش مصرف نیتروژن خاک در تناوب گندم-چغندر قند در کرت‌های ثابت در آزمایشی سه ساله در سه استان فارس، خراسان و خوزستان نشان داد با مصرف کود سبز می‌توان مصرف کودهای نیتروژن را کاهش داد (خوگر و همکاران ۱۳۸۴). بررسی اثرات کود حیوانی بر قابلیت استفاده و بازیابی فسفر باقیمانده به صورت کرت‌های ثابت در چهار سال در استان بوشهر نشان داد کود دامی در تمام سال‌های اجرای آزمایش سبب افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک و عملکرد محصول شد (زلفی باوریانی، ۱۳۸۵). بررسی چگونگی افزایش و تخلیه فسفر در خاک در تحقیقی ۱۱ ساله در کرت‌های ثابت در استان فارس با تناوب گندم-چغندر قند-ذرت و آیش با تیمارهای صفر تا ۱۸۰ کیلوگرم P_2O_5 نشان داد که در تیمار صفر میزان فسفر قابل استفاده خاک سالانه ۰/۵ تا ۰/۸ میلی گرم در کیلوگرم کاهش یافت (خوگر، ۱۳۸۴). در سایر نقاط دنیا طولانی‌ترین آزمایش کرت ثابت که تاکنون ادامه دارد از سال ۱۸۴۳ بر روی گندم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی روتامستد^۴ در جنوب انگلستان انجام شده است (شکل ۱). این منطقه به دلیل داده‌هایش بر روی گندم که قدمتی بیش از ۱۶۰ سال دارد معروف است. همچنین نقش این آزمایش در بررسی تغییرات خاک و محیط بسیار زیاد است. بسیاری از انتشارات مربوط به این آزمایش در شکل‌گیری علوم خاک نقش داشته است؛ مانند اطلاعاتی که تغییرات ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله

و نشان داد بر خلاف تصور مقدار ماده آلی خاک افزایش یافته است (بنبی و برار، ۲۰۰۹).

نشان داد کاهش میزان ماده آلی خاک در دراز مدت بسیار زیاد است؛ اما آزمایش دراز مدت این نتیجه را تایید نکرد



شکل ۱- طولانی‌ترین آزمایش کرت ثابت بر روی گندم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی روتامستد در جنوب انگلستان

کردند که ۲۹ سال پس از مصرف کود گاوی، کود گاوی مایع و بقایای گیاهی همراه با کود معدنی، کود گاوی به دلیل قابلیت تجزیه کم سریعترین افزایش در کربن آلی خاک و بیشترین کارایی ترسیب کربن (۸/۱ درصد) را نشان داد. با این حال استفاده از کود دامی به منظور ترسیب کربن سبب بوجود آمدن خطرات زیست محیطی مانند آلودگی نیترات می‌شود که می‌تواند به عدم پایداری سیستم زراعی و زیست بوم منجر شود. اقبال (۲۰۰۰) گزارش کرد که به ترتیب در حدود ۲۵ تا ۳۶ درصد کود دامی و کمپوست بعد از چهار سال در خاک باقی می‌ماند که نشان دهنده ترسیب کربن بیشتر در کودهای کمپوست شده در مقایسه با کود کمپوست نشده است.

در سیستم برنج- گندم استفاده از کود دامی به میزان ۲۰ تن در هکتار بعد از یک دوره ۳۲ ساله کربن آلی خاک را تا عمق ۱۵ سانتی‌متری به میزان ۱۷ درصد در مقایسه با کود شیمیایی افزایش داد (کوکال و همکاران، ۲۰۰۹). به طور کلی استفاده از ماده آلی در دوره‌های دراز مدت کربن آلی خاک را تا ۹۰ درصد در مقایسه با خاک کود نخورده و تا ۱۰۰ درصد در مقایسه با تیمارهای حاوی کود شیمیایی افزایش داده است. از جنبه زیست محیطی بازیافت کود آلی در مزرعه بهترین روش برای ترسیب کربن است اما وقتی فواید کود در یک نگاه جامع-

کربن آلی خاک تمایل به تعادل دارد که این تعادل بستگی به اقلیم، سیستم مدیریت، مقدار ماده آلی اضافه شده به خاک، سرعت تجزیه ماده آلی اضافه شده، بافت خاک، شوری، نفوذ پذیری آب در خاک، حاصلخیزی خاک و ... دارد. اغلب خاک‌ها به حالت تعادل نرسیده‌اند و میزان کربن آلی در آنها افزایش و یا کاهش می‌یابد (گلدینگ و همکاران، ۲۰۰۰). به سختی می‌توان میزان کربن آلی خاک را تغییر داد زیرا فرآیندهای پیچیده بافتری خاک سبب مقاومت در برابر تغییر می‌شود بنابراین تغییر کربن آلی خاک بسیار کند می‌باشد. اخیراً از ترسیب کربن به عنوان روشی جهت مقابله با تغییرات اقلیمی یاد شده است. ترسیب کربن، دی اکسید کربن اتمسفر را کم می‌کند که یکی از گازهای اصلی گلخانه‌ای است (تریپرتی و همکاران، ۲۰۱۶).

به طور کلی می‌توان نتایج بدست آمده در آزمایش‌های دراز مدت در مورد کربن آلی خاک را به صورت زیر خلاصه کرد. بسیاری از محققین افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک را در مزارعی که کود آلی دریافت کرده بودند را در مقایسه با مزارعی که فقط کود شیمیایی دریافت کرده بودند را گزارش کردند (شکل ۲) (کنت و همکاران، ۲۰۰۷). تریپرتی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی روش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک گزارش

دوره‌های کوتاه مدت مقدار و نوع بقایایی که در مزرعه باقی گذاشته می‌شود تعیین کننده می‌باشد. سرعت تجزیه بقایای گیاهی عمدتاً توسط نسبت کربن به نیتروژن تعیین می‌شود. با گذشت زمان لیگنین عامل محدود کننده معدنی شدن ماده آلی خاک است. فعالیت‌های کشاورزی شدید شامل خاک ورزی عمیق و کشت گیاهان پرتوقع به سرعت میزان کربن آلی خاک را کاهش می‌دهد. کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن و استفاده از کود آلی می‌تواند میزان کربن آلی خاک را افزایش دهد اما از طرف دیگر کودهای حاوی نیتروژن می‌تواند سبب کاهش نسبت کربن به نیتروژن شده و در خاک‌های با ماده آلی زیاد سبب کاهش کربن آلی خاک شود. برآیند این دو واکنش سبب تغییر در میزان کربن آلی خاک می‌شود (تریبری و همکاران، ۲۰۱۶).

تر ارزیابی شود آزاد شدن کربن طی فرآیند تخمیر و رسیدگی کود دامی باید به حساب آورده شود (دیاکونو و مونت مورنو، ۲۰۱۰). در بسیاری از آزمایش‌ها استفاده از کودهای شیمیایی در زمین‌هایی که کود آلی دریافت کرده‌اند به طور معنی‌داری سبب افزایش ترسیب کربن شده است. این تاثیر به تولید بیشتر در خاک کود خورده نسبت داده می‌شود که سبب افزایش بقایای گیاهی می‌گردد؛ اما بدون کود دامی حتی مقادیر زیاد کود شیمیایی نمی‌تواند مقدار کربن آلی خاک را اصلاح کند (هاف ماکل و همکاران، ۲۰۰۷ و ادمیدز، ۲۰۰۳). محققان زیادی به این نتیجه رسیده‌اند که گونه گیاهی و تناوب آنها نقش عمده‌ای در بقای کربن در خاک ایفا می‌کند (وارول، ۲۰۰۶). ترسیب کربن در شرایطی که گیاهان مختلف در تناوب وجود دارند نسبت به حالت تک کشتی بیشتر است. در



شکل ۲- افزایش کربن آلی خاک در اثر استفاده دراز مدت از کودهای آلی

توجه است (اقبال، ۲۰۰۲). با استفاده دراز مدت از کمپوست اثرات باقیمانده آن بر تولید محصول و ویژگی‌های خاک می‌تواند برای سالها ادامه داشته باشد؛ زیرا فقط بخشی از نیتروژن و سایر عناصر غذایی در سال اول برای گیاه قابل استفاده می‌شود (اقبال و همکاران، ۲۰۰۴). تیتارلی و همکاران (۲۰۰۷) در تخمین نیتروژن قابل دسترس از تیمارهای کمپوست در سال اول مقدار ۳۰ تا ۳۵ درصد نیتروژن کل را گزارش کردند. آزاد سازی نیتروژن از کمپوست عمدتاً در دو سال اول به وقوع می‌پیوندد که بیان می‌کند استفاده هر دو سال یکبار نسبت به

تاثیر روش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

افزایش یا کاهش کوتاه مدت ویژگی‌های شیمیایی خاک بسیار کم است و تغییرات آنها در آزمایشات کوتاه مدت قابل تشخیص نیست. سایر عوامل مانند غیریکنواختی خاک، سیستم‌های بافری خاک و تغییرات سالانه، کمی‌سازی تغییرات در کوتاه مدت را ناممکن می‌کند؛ مثلاً در آزمایش‌های کوتاه مدت معدنی شدن نیتروژن از کمپوست بسیار محدود گزارش شده است در حالیکه در آزمایش‌های دراز مدت این میزان قابل

کاهش قابلیت استفاده عناصر فلزی در مقایسه با سایر روش‌های پایدار کردن کودهای آلی می‌شود. استفاده مکرر از مواد آلی کمپوست شده میزان نیتروژن آلی خاک را تا حدود ۹۰ درصد زیاد کرده و آن را برای معدنی شدن در فصل‌های زراعی آبی آماده می‌سازد، اغلب بدون اینکه سبب شستشوی نترات به منابع آب زیرزمینی شود. استفاده از کود دامی در مقادیر بیش از نیاز گیاه سبب تجمع فسفر، نیتروژن و شوری در خاک می‌شود (دیاکونو و مونت مورنو، ۲۰۱۰).

تعداد قابل توجهی از مطالعات در رابطه با حاصلخیزی خاک در دراز مدت نشان دادند که استفاده از ماده آلی در خاک سبب افزایش ذخیره کربن خاک شده و در نتیجه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش می‌دهد. این تاثیر مربوط به بار منفی زیاد ماده آلی است. گارسیا گیل و همکاران (۲۰۰۴) بهبود دراز مدت (نه ساله) و کوتاه مدت در ظرفیت بافیری خاک در خاک‌های اصلاح شده با کمپوست زباله شهری را مشاهده کردند که از اثرات باقیمانده مصرف یک باره یا اثرات تجمعی چند بار استفاده منشاء گرفته بود. گزارشاتی در مورد تاثیر دراز مدت کاربرد کمپوست و کود دامی در افزایش (اقبال، ۲۰۰۲ و کارسیا گیل و همکاران، ۲۰۰۴) و کاهش pH خاک (منگ و همکاران، ۲۰۰۵ و بی و همکاران، ۲۰۰۸) وجود دارد که وابسته به pH اولیه خاک و نوع ماده آلی است.

در آزمایشی پنج ساله با تیمار کمپوست زباله شهری در مقایسه با شاهد پتاسیم قابل استفاده خاک ۲۶ درصد افزایش یافت. (هارتل و همکاران، ۲۰۰۳). هی و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که استفاده از کمپوست می‌تواند فسفر قابل استفاده گیاه را افزایش دهد. استفاده از کمپوست زباله شهری که هر چهار سال یک بار استفاده شد به طور موثری میزان فسفر قابل استفاده خاک را در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر افزایش داد. فسفر قابل عصاره-گیری خاک به طور متوسط از ۷/۲ تا ۸۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در اثر استفاده تجمعی از صفر تا ۲۰۰ تن در

سایر روشها بویژه در مقادیر بیشتر کمپوست برتری دارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۶). مشخص است که بسیاری از میکرو ارگانسیم‌ها نیتروژن آلی را به شکل معدنی تبدیل می‌کنند. محققان زیادی تایید می‌کنند که معدنی شدن نیتروژن در کوتاه مدت محدود است؛ اما اثر باقیمانده قابل توجهی از استفاده تجمعی این مواد بعد از چهار تا پنج سال بوقوع می‌پیوندد که منجر به قابلیت استفاده بیشتر نیتروژن و افزایش عملکرد می‌شود (اقبال، ۲۰۰۲ و لروی و همکاران، ۲۰۰۷). استفاده منظم از مواد آلی در خاک به مدت بیش از ۱۰ سال به شکل کمپوست یا کود دامی منابع کربن و نیتروژن خاک را افزایش می‌دهد و منجر به افزایش نیتروژن در خاک می‌شود که بیانگر حفاظت فیزیکی از این عنصر در خاکدانه‌های بزرگ است (سدهی و همکاران، ۲۰۰۹). بر طبق گزارش هارتل و اهرارت (۲۰۰۵) مقدار نیتروژن آلی در حدود ۱۰ درصد در لایه ۳۰ سانتی متری بالای خاک پس از ۱۰ سال استفاده از کمپوست در مقایسه با شاهد افزایش یافت. این نتایج با افزایش معنی‌دار کربن آلی به میزان ۲۲ درصد کامل شد که بیانگر آن است که نیتروژن آلی با ماده آلی پیوند دارد. پس از چهار سال استفاده از کمپوست ضایعات سبزیجات نیتروژن کل خاک به طور معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (نوس و همکاران، ۲۰۰۳).

دینامیک نیتروژن در خاک‌های اصلاح شده با کمپوست توسط عوامل مختلف تحت تاثیر قرار می‌گیرد که از جمله آنها می‌توان به نوع کمپوست، شرایط کمپوست‌سازی، اقلیم، ویژگی‌های خاک و عوامل مدیریتی اشاره کرد. در واقع قسمت اعظم نیتروژن در کمپوست سهل‌الوصول نیست؛ اما می‌تواند معدنی شده و توسط گیاه جذب شود یا توسط جمعیت میکروبی جذب شده، تحت فرآیند دنیتریفیکاسیون قرار گرفته و یا شسته شود (دیاکونو و مونت مورنو، ۲۰۱۰).

مدرک قابل توجهی در مورد تاثیر منفی عناصر سنگین بویژه وقتی کمپوست با کیفیت به مدت طولانی مصرف شود وجود ندارد. فرآیند کمپوست‌سازی سبب

تجزیه مواد آلی سرعت بیشتری می‌گیرد. برآیند این دو تغییر در میزان کربن آلی خاک را رقم خواهد زد.

مواد آلی که به سرعت تجزیه می‌شوند تاثیر شدید اما موقتی بر پایداری خاکدانه‌ها دارند در حالیکه مواد آلی مقاوم به تجزیه مانند لیگنین و سلولز تاثیر کمتر اما دراز مدت‌تری دارند (دیاکونو و مونت مورنو، ۲۰۱۰).

نتایج البیاج و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد ماده آلی و کربوهیدراتها دو عاملی هستند که با پایداری ساختمان خاکدانه‌ها در ارتباط هستند. آزمایش پنج ساله دیگری این یافته‌ها را تایید کرد و نشان داد کمپوست زباله شهری که هر دو سال یکبار استفاده شد پایداری خاکدانه‌ها را به میزان ۲۹/۳ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد و در نتیجه سبب افزایش مقاومت به فرسایش آبی شد (آنابی و همکاران، ۲۰۰۶). ارتباط بین فعالیت زیستی خاک و ویژگی‌های فیزیکی خاک بسیار پیچیده است. برخی عوامل زیستی در خاکدانه سازی و پایداری خاکدانه‌ها نقش دارند. پلی ساکاریدهای ساخته شده توسط میکروارگانیسم‌ها به ویژه در مرحله شروع تجزیه ماده آلی تمایل به جذب ذرات معدنی و افزایش پیوستگی آنها را دارند. برعکس تصور می‌شود ترکیباتی که از نظر هیومیک اسید غنی هستند مانند کودهای دامی و کمپوست سبب افزایش آبگریزی خاکدانه‌ها می‌شوند. این خاصیت در آزمایش‌های دراز مدت به اثبات رسیده است. در واقع بعد از ۱۶ سال استفاده از کود دامی یا بقایای گیاهی بهبود قابل توجهی در ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل پایداری خاکدانه و نگهداری آب مشاهده نشد که به دلیل افزایش کلونیدهای هیومیک در خاک است. (دورادو و همکاران، ۲۰۰۳). این محققان به این نتیجه رسیدند که شاخص پایداری ساختمانی در مقایسه با شاهد ۲/۵ واحد کاهش یافت. تجادا و همکاران (۲۰۰۸) مشاهده کردند که بقایای لگوم‌های کمپوست شده به تنهایی یا همراه با ملاس چغندر قند تاثیر مثبتی بر پایداری ساختمان خاک داشت؛ اما ملاس تازه چغندر پایداری ساختمان خاک را در مقایسه با شاهد کاهش داد. بر اساس اطلاعات این بخش

هکتار کمپوست زباله شهری افزایش یافت. اقبال (۲۰۰۲) گزارش کرد که استفاده از کود گاوی و کمپوست کود دامی بر اساس نیازهای نیتروژنی ذرت می‌تواند منجر به تجمع فسفر شود زیرا نسبت نیتروژن به فسفر در کود گاوی و کمپوست کمتر از این نسبت در گیاه ذرت بود. بررسی چند آزمایش دراز مدت نشان داد که با توجه به اینکه نسبت عناصر غذایی در کود دامی با نسبت جذب عناصر توسط گیاه فرق دارد تجمع برخی عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر در خاک اتفاق می‌افتد. در این شرایط حرکت بیشتر فسفر در رواناب و شستشوی نیتروژن ممکن است بوقوع پیوندد و در خاک‌هایی که قدرت نگهداری فسفر کمی دارند و در شرایطی که فسفر آلی شسته می‌شود تلفات فسفر از طریق شستشو به وقوع می‌پیوندد (ادمیدز، ۲۰۰۳). ارزیابی کلی منابع نشان داد که اصلاح کننده‌های آلی در دراز مدت فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک و میزان کربن آلی خاک را افزایش داده و نیتروژن را به تدریج رها سازی می‌کنند (دیاکونو و مونت مورنو، ۲۰۱۰).

تاثیر روش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

ارزیابی تاثیر برخی تغییرات مانند خاک ورزی و استفاده از کود آلی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند ساختمان خاک بسیار کند است و نمی‌توان آن را با آزمایش‌های کوتاه مدت ارزیابی کرد. ارزیابی نتایج حاصل از آزمایش‌های دراز مدت نشان می‌دهد استفاده از کود آلی نه فقط کربن آلی را به طور مستقیم وارد خاک می‌کند بلکه سبب تسهیل پایداری خاکدانه می‌شود که به دلیل خاصیت پیونددهندگی ترکیبات هیومیک و سایر فرآورده‌های میکروبی است (والن و چانگ، ۲۰۰۲). این پایداری به تجمع کربن کمک می‌کند زیرا ماده آلی به طور فیزیکی در داخل خاکدانه‌ها از حمله میکرو ارگانیسم‌ها در امان می‌ماند. از سوی دیگر بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک سبب تحریک فعالیت میکروبی خاک می‌شود و بنابراین

بخشد که این کار عمدتاً از طریق افزایش پایداری خاکدانه‌ها صورت می‌گیرد (شکل ۳).

می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده مکرر از اصلاح کننده‌های آلی می‌تواند حاصلخیزی فیزیکی خاک را بهبود



شکل ۳- بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک در اثر استفاده دراز مدت از کودهای آلی

میکروبی و فعالیت میکرو ارگانیسم‌های دخیل در چرخه عناصر غذایی است. (دیاکونو و مونت مورنو، ۲۰۱۰).

در مورد کیفیت مواد اصلاح کننده آلی موناکو و همکاران (۲۰۰۸) نتیجه گرفتند که فعالیت میکروبی که با پارامتر تنفس پتانسیل خاک نشان داده شد با مقدار کربن آلی که به سادگی تجزیه می‌شود همبستگی داشت و وقتی بخشی از کربن قبل از ورود به خاک به هوموس تبدیل شد این پارامتر کاهش نشان داد. الفستراند و همکاران (۲۰۰۷) تاثیر کود سبز در یک آزمایش ۴۷ ساله را مورد بررسی قرار دادند. این محققان فعالیت بیشتر باکتریها و قارچ‌ها و نسبت بیشتر قارچ به باکتری رادر تیمار کود سبز در مقایسه با کود دامی و خاک اره گزارش کردند. این رفتار به تفاوت کیفیت مواد آلی اضافه شده ارتباط دارد. مرور نتایج نشان می‌دهد که ماده آلی اضافه شده به خاک منجر به بهبود ویژگی‌های زیستی خاک می‌شود که شدت آن بستگی به کمیت و نوع ماده آلی اضافه شده دارد.

تاثیر روش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک بر پایداری

تولید محصول

ماهیت ارزیابی پایداری محصول بر پایه آزمایش‌های دراز مدت است و با آزمایش‌های کوتاه مدت این ارزیابی امکان‌پذیر نیست. ارزیابی نتایج آزمایش‌های

تاثیر روش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک بر ویژگی‌های زیستی خاک

استفاده مداوم از مواد آلی در زمین‌های زراعی منجر به بهبود فعالیت‌های زیستی خاک می‌شود. به عنوان مثال در آزمایشی نشان داده شده است که ویژگی‌های زیستی خاک مانند کربن زیست توده میکروبی، تنفس پایه و برخی فعالیت‌های آنزیمی با تیمارهای کمپوست به طور معنی‌داری بهبود یافته است. این حالت بویژه در لایه‌های بالایی خاک مشهودتر است، زیرا بخش فعال ماده آلی که بیشترین تخریب پذیری را دارد به این لایه اضافه شده است. (تجادا و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به اینکه کمپوست در خاک به کندی تجزیه می‌شود، آزاد سازی مداوم عناصر غذایی می‌تواند جمعیت زیست توده میکروبی را به مدت طولانی‌تری در مقایسه با کودهای معدنی پایدار کند (مورفی و همکاران، ۲۰۰۷). در واقع اغلب اثر باقیمانده جالب توجهی از تاثیر کمپوست بر فعالیت‌های میکروبی در بسیاری از فصول آزمایشی بعد از استفاده از آنها دیده شده است که منجر به قابلیت استفاده طولانی مدت تر عناصر غذایی شده است. همچنین فعالیت آنزیمی و کیفیت بیوشیمیایی خاک افزایش می‌یابد. به عنوان یک قاعده کلی کمیت و کیفیت مواد آلی اضافه شده به خاک عامل اصلی کنترل کننده فراوانی گروه‌های

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به اهمیت حاصلخیزی خاک در تامین غذا دسترسی به سیستم پایش برای پیگیری تغییرات بوجود آمده در ویژگی‌های خاک در اثر فعالیت‌های کشاورزی، تغییرات اقلیمی و جوی ضروری است. آزمایش‌های کوتاه مدت فقط بخش کوچکی از خاک و نه کل آن را مورد بررسی قرار می‌دهند در نتیجه تعمیم دادن تغییرات این ویژگی‌ها به دوره‌های زمانی طولانی مدت تر مشکل ساز است. یکی از راه‌های ارزیابی تغییرات زمانی ویژگی‌های خاک آزمایش‌های دراز مدت مزرعه‌ای با کرت‌های دایم هستند. بطور کلی این آزمایش‌ها به منظور ارزیابی پایداری دراز مدت حاصلخیزی خاک در مدیریت‌های مختلف عناصر غذایی، پایش وضعیت کربن آلی خاک در مدیریت‌های مختلف حاصلخیزی خاک در درازمدت، پایش تغییرات درازمدت عناصر غذایی (پرمصرف و کم مصرف) در خاک در اثر اعمال مدیریت-های مختلف حاصلخیزی خاک، پایش وضعیت تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در مدیریت‌های مختلف حاصلخیزی خاک در درازمدت، تخمین تعادل ورودی-خروجی عناصر غذایی در درازمدت، ارزیابی تاثیر درازمدت آلوده کننده‌های اتمسفری یا تغییرات اقلیمی بر ویژگی‌های خاک، مشخص کردن روند تخلیه عناصر غذایی در دراز مدت، ارزیابی تاثیر کشاورزی بر محیط و محیط بر کشاورزی در دراز مدت به اجرا در می‌آیند. با توجه به کاربردها و نتایج ذکر شده از آزمایش‌های درازمدت و انجام نشدن آزمایش‌های منسجم و محدودیت اطلاعات در این زمینه در ایران برنامه‌ریزی برای اجرای این آزمایش‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

رهیافت ترویجی

ارزیابی آزمایش‌های درازمدت نشان داد استفاده از کودهای شیمیایی معدنی سریع‌ترین راه برای تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشد، اما با محدودیت-هایی همراه است. همچنین با توجه میزان ماده آلی کم

دراز مدت نشان می‌دهد در مدیریت‌های مرسوم حاصلخیزی خاک، تولید محصول پایدار نیست. به عنوان مثال عملکرد برنج به طور خطی طی سی سال (۹۰-۱۹۶۰) از ۹۰۰۰ کیلوگرم در هکتار به ۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (دابرن و همکاران، ۲۰۰۰). از دلایل این امر می‌توان به تغییر در کمیت و کیفیت ماده آلی خاک و کاهش تدریجی قابلیت استفاده عناصر غذایی که منجر به عدم تعادل آنها در خاک می‌شود را اشاره کرد. به عنوان مثال تخلیه خاک از پتاسیم دلیل کاهش عملکرد در آزمایشات دراز مدت با تناوب گندم - برنج در آسیا عنوان شده است؛ زیرا کوددهی مرسوم میزان پتاسیم مورد نیاز گیاه را فراهم نکرده است (هاف ماکل و همکاران، ۲۰۰۷). ادمیلز (۲۰۰۳) بعد از بررسی ۱۴ آزمایش درازمدت حاصلخیزی خاک به این نتیجه رسید که علی‌رغم تاثیرات مثبت کود دامی بر ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک هیچ برتری در عملکرد گیاه در مقایسه با استفاده از عناصر غذایی به صورت کود شیمیایی وجود نداشت. اما در صورتیکه کود دامی در مقادیر بیش از توصیه‌های معمول استفاده شود سبب افزایش عملکرد نسبت به کودهای شیمیایی می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از کمپوست یا سایر اصلاح کننده‌های آلی در ترکیب با کود معدنی سبب افزایش عملکرد در بسیاری از سیستم‌های کشاورزی در مقایسه با اصلاح کننده آلی یا کود معدنی به تنهایی شد (ادمیلز، ۲۰۰۳ و رز و همکاران، ۲۰۰۶). به عنوان نمونه در آزمایش درازمدت روتامستد عملکرد گندم بین ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد (بدون کوددهی) تا ۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار مصرف توام کود آلی و شیمیایی متغیر بود (هاف ماکل و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین آزمایشی ۲۰ ساله بر روی کوددهی معدنی و آلی در تناوب گندم - ذرت نشان داد بیشترین عملکرد از مصرف توام کود دامی و کودهای معدنی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بدست آمد (جیانگ و همکاران، ۲۰۰۶).

خاک‌های ایران (بلالی و همکاران، ۱۳۹۳)؛ استفاده از روش‌های مختلف به منظور افزایش ترسیب کربن در خاک توصیه می‌شود. بررسی‌های انجام شده نشان داد تلفیق کودهای شیمیایی به همراه منابع آلی و زیستی نتایج مطلوبی در افزایش تولید فرآورده‌های کشاورزی و پایداری حاصلخیزی خاک داشته است.

فهرست منابع

۱. ابطحی، ع. و همکاران. ۱۳۷۹. فرهنگ کشاورزی و منابع طبیعی (شامل تعریف و معادل فارسی واژه‌های علمی). جلد دهم خاکشناسی.
۲. بارانی مطلق، م.، غ. ر. ثوابی، ن. ع. کریمیان و ش. محمودی. ۱۳۸۲. بررسی تخلیه پتاسیم از خاک‌های زیر کشت نیشکر در خوزستان. هشتمین کنفرانس علوم خاک ایران. رشت. ایران.
۳. بلالی، م.، ر. ح. رضایی و ف. مشیری، ۱۳۹۳. وضعیت حاصلخیزی خاکهای کشور و ضرورت ارتقا توان آن برای خدمات رسانی به تولیدات کشاورزی، در کتاب: خاوازی و همکاران (نویسندگان) برنامه جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه (جلد اول). موسسه تحقیقات خاک و آب.
۴. خوگر، ز. ۱۳۸۴. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی " بررسی چگونگی افزایش و تخلیه فسفر در خاک " موسسه تحقیقات خاک و آب کشور.
۵. خوگر، ز.، ا. محمد زاده، ا. جواهری و س. سماوات. ۱۳۸۴. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی " بررسی افزایش ماده آلی (از طریق کود سبز) خاک در کاهش مصرف کود نیتروژن در تناوب گندم چغندر قند در پلاتهای ثابت " موسسه تحقیقات خاک و آب کشور.
۶. خوگر، ز.، و ش. شجری. ۱۳۹۵. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی " بررسی اقتصادی استفاده از کودهای آلی و شیمیایی بر کمیت و کیفیت گندم-ذرت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در کرت ثابت " موسسه تحقیقات خاک و آب کشور.
۷. زلفی باوریانی، م. ۱۳۸۵. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی " بررسی اثرات کود حیوانی بر قابلیت استفاده و بازیابی فسفر باقیمانده " موسسه تحقیقات خاک و آب کشور.
۸. صلاحی فراهی، م. ۱۳۸۴. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی " بررسی روند غنی سازی پتاسیم پتاسیم خاک های منطقه کردکوی و تاثیر آن بر پنبه در کرت‌های دائم. " موسسه تحقیقات خاک و آب کشور.
۹. فلاح، و. م. ۱۳۷۴. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی " بررسی قدرت ترمیم عناصر غذایی در شالیزار مازندران " موسسه تحقیقات برنج کشور.
۱۰. فلاح، و. م. ۱۳۷۵. بررسی ظرفیت ترمیم عناصر غذایی ضروری در شالیزار و پایداری تولید برنج در مازندران. پنجمین کنگره علوم خاک، کرج، ایران.
۱۱. فلاح، و. م.، و ن. ساداتی. ۱۳۷۷. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی " بررسی بالانس (توازن) پتاسیم در خاک‌های شالیزاری " موسسه تحقیقات برنج کشور.
۱۲. موسوی فضل، س. م. ه. ۱۳۸۷. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی " تاثیر کاربرد مقادیر مختلف پتاسیم بر میزان باقیماندگی و اشکال مختلف پتاسیم و عملکرد محصولات در تناوب گندم- ذرت- گندم " موسسه تحقیقات خاک و آب کشور.

۱۳. ملکوتی، م. ج. و ع. شاهرخ نیا. ۱۳۷۹. ضرورت تغییر نگرش در مصرف کودهای فسفاته در راستای کاهش کادمیوم در مواد غذایی ((بررسی طولانی مدت تغییرات فسفر در خاکهای زراعی کشور)). نشریه فنی شماره ۱۶۴. موسسه تحقیقات خاک و آب کشور.
۱۴. میرزاشاهی، ک. ۱۳۸۱. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی " بررسی اثر باقیمانده فسفر و پتاسیم مصرف شده در زراعت ذرت دانه ای بر عملکرد گندم در تناوب با آن" موسسه تحقیقات خاک و آب کشور.
۱۵. میرزاشاهی، ک. ۱۳۸۴. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی " بررسی اثر باقیمانده، مقادیر و روش های کاربرد فسفر بر کلزا در تناوب ذرت-کلزا" موسسه تحقیقات خاک و آب کشور.
16. Abrol, I. P., K. F. Bronson, J.M. Duxbury and R.K. Gupta. 1997. Long-term soil fertility experiments in rice-wheat cropping systems. p. 14-15. In I.P. Abrol et al. (ed.) Long-term soil fertility experiments with rice-wheat rotations in South Asia. Rice-Wheat Consortium Pap. Ser. 1. Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains, New Dehli.
17. Albiach, R., R. Canet, F. Pomares and F. Ingelmo. 2001. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. *Biology resource Technology*. 76: 125-129.
18. Annabi M., S. Houot, C. Francou, M. Le Villio-Poitrenau and Y. Le Bissonnais. 2006. Improvement of aggregate stability after urban compost addition in a silty soil. In: E. Kraft et al (ed.), *Biological Waste Management, From Local to Global, Proceedings of the International Conference*.
19. Benbi, D. K., and J. S. Brar. 2009. A 25-year record of carbon sequestration and soil properties in intensive agriculture. *Agronomy for sustainable development*. 29: 257-265.
20. Bhandari, A.L., J.K. Ladha, H. Pathak, A.T. Padre, D. Dawe, and R.K. Gupta. 2002. Yield and soil nutrient changes in a long-term rice-wheat rotation in India. *Soil Science Society of American Journal*. 66: 162-170.
21. Bi, L., B. Zhang, G. Liu, Z. Li, Y. Liu, C. Ye, X. Yu, T. Lai, J. Zhang, J. Yin and Y. Liang. 2008. Long-term effects of organic amendments on the rice yields for double rice cropping systems in subtropical China. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 129(4): 534-541.
22. Blair, N., R.D. Faulkner, A.R. Till, and P.R. Poulton. 2006. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility: Part I: Broadbalk experiment. *Soil and Tillage Research*, 91(1): 30-38.
23. Dawe, D., A. Dobermann, J. K. Ladha, R. I. Yadev, B. Lin, R. K. Gupta, P. Lal, G. Panullah, Y. Singh, A. Swarup, and Q. X. Zhen. 2003. Do organic amendments improve yield trends and profitability in intensive rice systems? *Field Crop Research*. 83: 191-213.
24. Diacono, M., and F. Montemurro. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for sustainable development*. 30(2): 401-422.
25. Dobermann, A., D. Dawe, R.P. Roetter, and K.G. Cassman. 2000. Reversal of rice yield decline in a long-term continuous cropping experiment. *Agronomy Journal*. 92: 633-643.
26. Dorado, J., M. C. Zancada, G. Almendros and C. López-Fando. 2003. Changes in soil properties and humic substances after long-term amendments with manure and crop residues in dryland farming system. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 166: 31-38.
27. Edmeades, D.C. 2003. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient cycling in Agroecosystems*. 66(2): 165-180.
28. Eghball B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society. American Journal*. 64: 2024-2030.
29. Eghball B. 2002. Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications, *Agronomy Journal*. 94: 128-135.
30. Eghball B., D. Ginting, J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agronomy Journal*. 96: 442-447.

31. Elfstrand S., K. Hedlund and A. Mårtensson. 2007. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring, *Applied Soil Ecology*. 35: 610–621.
32. Gami, S., J. Ladha, H. Pathak, M. Shah, E. Pasuquin, S. Pandey, P. Hobbs, D. Joshy, and R. Mishra. 2001. Long-term changes in yield and soil fertility in a twenty-year rice-wheat experiment in Nepal. *Biology and Fertility of Soils*. 34(1): 73-78.
33. García-Gil J.C., S. B. Ceppi, M. I. Velasco, A. Polo and N. Senesi. 2004. Long-term effects of amendment with municipal solid waste compost on the elemental and acidic functional group composition and pH-buffer capacity of soil humic acids. *Geoderma*. 121: 135–142.
34. Goulding, K. W. T., P. R. Poulton, C. P. Webster, and M. T. Howe. 2000. Nitrate leaching from the Broadbalk Wheat Experiment, Rothamsted, UK, as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather. *Soil use and management*. 16(4): 244-250.
35. Hartemink, A. E. 2006. Soil fertility decline: definitions and assessment. *Encyclopedia of Soil science*. 2: 1618-1621.
36. Hartl, W., B. Putz and E. Erhart. 2003. Influence of rates and timing of biowaste compost application on rye yield and soil nitrate levels. *European Journal of Soil Biology*. 39: 129–139.
37. Hartl W., and E. Erhart. 2005. Crop nitrogen recovery and soil nitrogen dynamics in a 10-year field experiment with biowaste compost, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168: 781–788.
38. He, Z., X. Yang, B. A. Kahn, P. J. Stoffella and D. V. Calvert. 2001. Plant nutrition benefits of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and micronutrients from compost utilization. In: Stoffella P.J., and B. A. Kahn (eds.), CRC Press LLC, *Compost utilization in horticultural cropping systems*, pp. 307–317.
39. Heidborn, K. (ed.). 2007. Success stories of agricultural long term experiments. Report from a Conference at the Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry.
40. Hofmockel, M., M. A. Callahan, D. S. Powlson and P. Smith. 2007. Long-term soil experiments: Keys to managing Earth's rapidly changing ecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 71(2): 266-279.
41. Jiang, D., H. Hengsdijk, D. A. I. Ting-Bo, J. I. N. G. Qi. and C. A. O. Wei-Xing. 2006. Long-term effects of manure and inorganic fertilizers on yield and soil fertility for a winter wheat-maize system in Jiangsu. *Pedosphere*, 16(1): 25-32.
42. Kenneth, A. B., Kiely, G., Leahy, P., 2007. Carbon sequestration determined using farm scale carbon balance and eddy covariance. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 121: 357–364.
43. Komatsuzaki M., and H. Ohta. 2007. Soil management practices for sustainable agro-ecosystems. *Sustainability Science*. 2: 103–120.
44. Kukal S.S., and D. K. Benbi. 2009. Soil organic carbon sequestration in relation to organic and inorganic fertilization in rice-wheat and maize-wheat systems. *Soil Tillage Research*. 102: 87–92.
45. Lal, R. 1989. Land degradation and its impact on food and other resources. Academic Press. San Diego.
46. Leroy, B. L., L. Bommele, D. Reheul, M. Moens, and S. De Neve. 2007. The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture: Effects on soil fauna and yield. *European Journal of Soil Biology*, 43(2): 91-100.
47. Meng L., W. Ding and Z. Cai. 2005. Long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer on N₂O emissions, soil quality and crop production in a sandy loam soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 37: 2037–2045.
48. Murphy D.V., E. A. Stockdale, P. C. Brookes and K. W. T. Goulding. 2007. Impact of microorganisms on chemical transformation in soil. In: Abbott L.K., and D. V. Murphy (eds.) *Soil biological fertility – A key to sustainable land use in agriculture*, Springer, pp. 37–59.

49. Monaco, S., D. J. Hatch, D. Sacco, C. Bertora and C. Grignani. 2008. Changes in chemical and biochemical soil properties induced by 11-yr repeated additions of different organic materials in maize based forage systems. *Soil Biology and Biochemistry*. 40: 608–615.
50. Nevens F., and D. Reheul. 2003. The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture: nitrogen availability and use, *European Journal of Agronomy*. 19: 189–203.
51. Powlson, D.S., P. Smith, K. Coleman, J.U. Smith, M.J. Glendinning, M. Körschens, and U. Franko. 1998. A European network of long-term sites for studies on soil organic matter. *Soil and Tillage Research*, 47(3): 263-274.
52. Ros, M., S. Klammer, B. Knapp, K. Aichberger and H. Insam. 2006. Long term effects of compost amendment of soil on functional and structural diversity and microbial activity. *Soil Use Management*. 22: 209–218.
53. Sanchez, P.A. 2002. Soil fertility and hunger in Africa. *Science*. 295: 2019–2020.
54. Sodhi G.P.S., V. Beri and D. K. Benbi. 2009. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice-wheat system. *Soil Tillage Research*. 103(2): 412-418.
55. Tejada M., J. L. Gonzalez, A. M. García-Martínez and J. Parrado. 2008. Application of a green manure and green manure composted with beet vinasse on soil restoration: Effects on soil properties. *Bio resource Technology*. 99: 4949–4957.
56. Tejada M., M. T. Hernandez and C. Garcia C. 2009. Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties, *Soil Tillage Research*. 102: 109–117.
57. Tirol-Padre, A., and J.K. Ladha. 2006. Integrating rice and wheat productivity trends using the SAS mixed-procedure and meta-analysis. *Field Crops Research* 95: 75–88.
58. Tittarelli F., G. Petruzzelli, B. Pezzarossa, M. Civilini, A. Benedetti and P. Sequi. 2007. Quality and agronomic use of compost, in: Diaz L.F., et al. (eds.). *Compost science and technology, Waste management series 8*, Elsevier Ltd., pp. 119–145.
59. Triberti L., A. Natri, G. Giordani, F. Comellini, G. Baldoni and G. Toderi. 2008. Can mineral and organic fertilization help sequester carbon dioxide in cropland? *European Journal of Agronomy*. 29: 13–20.
60. Triberti, L., A. Natri and G. Baldoni. 2016. Long-term effects of crop rotation, manure and mineral fertilization on carbon sequestration and soil fertility. *European Journal of Agronomy*. 74: 47-55.
61. Varvel, G.E., 2006. Soil organic carbon changes in diversified rotations of the western corn belt. *Soil Science Society of American Journal*. 70: 426–433.
62. Whalen, J.K., and C. Chang. 2002. Macroaggregate characteristics in cultivated soils after 25 annual manure applications. *Soil Science Society of American Journal*. 66: 1637–1647.
63. Zhang M., D. Heaney, B. Henriquez, E. Solberg and E. Bittner. 2006. A four year study on influence of biosolids/MSW cocompost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics. *Compost Science and Utility*. 14: 68–80.