

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده کشاورزی

رشته مهندسی کشاورزی گرایش اکولوژی گیاهان زراعی

رساله دکتری

بررسی اثر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر توان ترسیب کربن در زراعت گیاه ذرت

نگارنده: عصمت محمدی

استاد راهنما

دکتر حمیدرضا اصغری

اساتید مشاور

دکتر احمد غلامی

دکتر سرور خرم دل

خرداد ۱۳۹۷

شماره: ۱۷۰/۱۹
تاریخ: ۱۳۹۷/۴/۱۹
ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۱۲: صورت جلسه نهایی دفاع از رساله دکتری (Ph.D)
(ویژه دانشجویان ورودی های ۹۴ و ما قبل)

بدینوسیله گواهی می شود خانم عصمت محمدی دانشجوی دکتری رشته مهندسی کشاورزی - اکولوژی گیاهان زراعی به شماره دانشجویی ۹۲۱۶۹۹۵ ورودی مهر ماه سال ۱۳۹۲ در تاریخ ۱۳۹۷/۳/۲۸ از رساله نظری / عملی خود با عنوان: بررسی اثر سیستم های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه ای بر توان ترسیب کربن در زراعت گیاه ذرت دفاع و با اخذ نمره ۱۹,۵ به درجه : **رئیس** نائل گردید.

☐ الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹	☐ ب) درجه بسیار خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۷
☐ ج) درجه خوب: نمره ۱۶/۹۹-۱۵	☐ د) غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد
☐ ه) رساله نیاز به اصلاحات دارد	

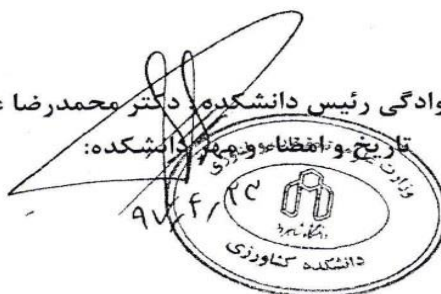
ردیف	هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱	دکتر حمیدرضا اصغری	استاد راهنما	دانشیار	
۲	دکتر احمد غلامی	مشاور	دانشیار	
۳	دکتر سرور خرم دل	مشاور	دانشیار	
۴	دکتر حمید عباسدخت	استاد مدعو داخلی	دانشیار	
۵	دکتر مهدی برادران	استاد مدعو داخلی	دانشیار	
۶	دکتر همت اله پیردشتی	استاد مدعو خارجی	دانشیار	
۷	دکتر محمدرضا عامریان	سرپرست (نماینده) تحصیلات تکمیلی دانشکده	دانشیار	

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم در خصوص انجام مراحل دانش آموختگی خانم عصمت محمدی بعمل آید.

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمدرضا عامریان

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیم بہ...

خالق م کہ مرا آفرید، او کہ مرا عشق بخشید

تقدیم بہ...

پدر م کہ راہ زندگیم آموخت، مادر م کہ تحتین کلمہ را بہ من آموخت، برادران و خواہرانم کہ با نگاہشان ہر لحظہ شاد گشتم

و تقدیم بہ...

معلم، از معلم کلاس اول تا استاد کلاس آخر

و بہہ آنانی کہ، ہستی علم، دیون وجود آنهاست.

شکر و قدردانی

سپاس می‌گویم خداوند منان را که به من نعمت خواندن و نوشتن عطا نمود. در پایان این مرحله از تحصیل بر خود لازم می‌دانم که از بزرگوارانی که در طی مراحل زندگی و تحصیل یاریم نمودند قدردانی نمایم.

تحت از محبت‌های خالصانه و حمایت‌های بی‌دریغ خانواده‌ام که با بهدلی فرصت تحصیل را برایم فراهم آوردند و برایم تکیه‌گاهی امن و استوار بودند صمیمانه قدردانی می‌نمایم و بر دوستان پر مهرشان بوسه می‌زنم.

از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر حمید رضا صغری به پاس راهنمایی‌های بی‌دریغ علمی، سجایای اخلاقی و کمک‌های ارزنده پاسکزاری و قدردانی می‌نمایم.

از مشاوران محترم جناب آقای دکتر احمد غلامی و سرکار خانم دکتر سرور خرم دل که از راهنمایی‌های ارزشمندشان بهره‌مند شدم، پاسکزارم. از داوران کراتقدردا خلی جناب آقای دکتر حمید عباسدخت و جناب آقای دکتر مهدی برادران و داور خارجی جناب آقای دکتر بهت اله سپردشتی که زحمات بازخوانی این رساله را متقبل شدند و بار راهنمایی‌های ارزشمندشان در ارائه هرچه بهترین رساله‌یاری ام نمودند، صمیمانه شکر و قدردانی می‌نمایم. از ریاست محترم دانشکده جناب آقای دکتر محمد رضا عامریان، کارکنان دانشکده و سایر دوستان و سرورانی که به نحوی از الطاف بی‌ریایشان بهره‌مند گشتم شکر و قدردانی می‌نمایم.

برای همه بهترین آرزوها دارم.

عصمت محمدی

خرداد ۱۳۹۷

تعهدنامه

اینجانب عصمت محمدی دانشجوی دوره دکتری رشته مهندسی کشاورزی - اکولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده رساله بررسی اثر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر توان ترسیب کربن در زراعت گیاه ذرت تحت راهنمایی جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی رساله تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این رساله، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این رساله در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ
امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

ترسیب کربن در خاک راهی مؤثر برای کاهش غلظت دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر است که مهمترین گاز گلخانه‌ای می‌باشد. به‌منظور بررسی اثر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد، تولید اولیه خالص، برخی خصوصیات خاک و توان ترسیب کربن در زراعت گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰۴، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۹۶-۱۳۹۵ در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود با سه تکرار به اجرا در آمد. فاکتورهای آزمایش شامل سیستم‌های خاکورزی به‌عنوان فاکتور اصلی در دو سطح شامل خاکورزی مرسوم (گاواهن برگرداندار + دیسک) و کم‌خاکورزی (چیزل) و مدیریت تغذیه‌ای شامل (شاهد، کود شیمیایی، کود دامی، بیوچار، کود شیمیایی + دامی، کود شیمیایی + بیوچار و کود دامی + بیوچار) به‌عنوان فاکتور فرعی بودند. نتایج نشان داد که در هر دو سال مدیریت تغذیه‌ای اثر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد، جذب عناصر غذایی دانه، تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی و زیرزمینی داشتند. در سال اول کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار به‌ترتیب باعث افزایش عملکرد دانه (۶۰/۴۱ و ۵۶/۳۲ درصد)، تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی (۴۷/۰۴ و ۴۲/۶۹ درصد) و جذب نیتروژن دانه (۸۳/۹۵ و ۸۱/۳۸ درصد) نسبت به شاهد شدند. در سال دوم نیز کود شیمیایی + دامی، عملکرد دانه و تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی را به‌ترتیب ۵۱/۴۳ و ۴۷/۰۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی نداشت. در سال دوم کود شیمیایی + بیوچار نتوانست عملکردی مشابه کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی تولید نماید. همچنین در هر دو سال رطوبت وزنی، تنفس پایه، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، ماده آلی، شاخص مدیریت کربن و ترسیب کربن خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای قرار گرفتند. در سال دوم کود دامی و کود شیمیایی + دامی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ماده آلی (۲۸/۳۱ و ۱۷/۰۶ درصد)، شاخص مدیریت کربن (۴۰/۳۸ و

۳۳/۳۵ درصد) و ترسیب کربن خاک (۳۶/۸۰ و ۲۲/۹۹ درصد) نسبت به شاهد شدند که از لحاظ آماری اختلاف معنی داری بین کود دامی و کود شیمیایی + دامی وجود نداشت. بر اساس نتایج به دست آمده بین دو سیستم خاکورزی مرسوم و کم خاکورزی اختلاف معنی داری در صفات مورد بررسی مشاهده نشد. بنابراین با توجه به تأثیر منفی کودهای شیمیایی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، هزینه بالای مصرف این نهاده‌ها و اهمیت توجه به منابع تغذیه‌ای به منظور بهبود خصوصیات خاک و حفظ محیط زیست، استفاده از کم خاکورزی به همراه مدیریت تغذیه‌ای شامل کود شیمیایی + دامی برای بهبود عملکرد و اجزای عملکرد و ترسیب کربن در زراعت گیاه ذرت توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: بیوچار، تولید اولیه خالص، شاخص مدیریت کربن، کم خاکورزی، کود دامی

مقالات مستخرج از رساله

محمدی ع. اصغری ح. ر. غلامی ا. و خرم‌دل س، (۱۳۹۶) "ارزیابی تولید خالص اولیه (NPP) و تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گیاه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای" **نشریه بوم‌شناسی کشاورزی**، جلد ۹، شماره ۱: ص ۲۶۲-۲۷۵.

محمدی ع. اصغری ح. ر. غلامی ا. و خرم‌دل س، (۱۳۹۶) "اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی" پذیرش برای چاپ در **نشریه بوم‌شناسی کشاورزی**.

محمدی ع. اصغری ح. ر. غلامی ا. و خرم‌دل س، (۱۳۹۵)، "بررسی اثر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر میزان تنفس خاک و برخی صفات زراعی گیاه ذرت در مرحله تاسل‌دهی"، دومین کنگره بین‌المللی و چهاردهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه گیلان.

محمدی ع. اصغری ح. ر. غلامی ا. و خرم‌دل س، (۱۳۹۶)، "بررسی سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر تنوع و تراکم علف‌های هرز ذرت"، هفتمین همایش علوم علف‌های هرز ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

محمدی ع. اصغری ح. ر. غلامی ا. و خرم‌دل س، (۱۳۹۶)، "اثر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر برخی خصوصیات خاک و رشد گیاه ذرت"، پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

محمدی ع. اصغری ح. ر. غلامی ا. و خرم‌دل س، (۱۳۹۶)، "ارزیابی شاخص مدیریت کربن خاک و تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای"، پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم: بررسی منابع	۷
۱-۲- گازهای گلخانه‌ای	۸
۲-۲- تغییر اقلیم و اثرات آن بر ذرت	۸
۳-۲- اثر عملیات کشاورزی بر تغییر اقلیم و تولید گازهای گلخانه‌ای	۱۱
۴-۲- ترسیب کربن	۱۴
۵-۲- خاکورزی	۲۱
۶-۲- کودهای شیمیایی و کودهای آلی	۲۸
۷-۲- بیوپچار	۳۳
فصل سوم: مواد و روشها	۴۱
۱-۳- زمان و محل انجام آزمایش	۴۲
۲-۳- موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی محل انجام آزمایش	۴۲
۳-۳- ویژگی‌های خاک محل انجام آزمایش	۴۳
۴-۳- طرح آزمایشی و تیمارها	۴۳
۵-۳- روش انجام آزمایش	۴۴
۶-۳- صفات مورد بررسی	۴۵

۴۵	۳-۶-۱- صفات زراعی، عملکرد و عناصر غذایی دانه
۴۷	۳-۶-۲- تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی و زیرزمینی
۴۸	۳-۶-۳- خصوصیات خاک
۴۸	۳-۶-۳-۱- pH خاک
۴۸	۳-۶-۳-۲- رطوبت وزنی خاک
۴۹	۳-۶-۳-۳- تنفس پایه خاک
۵۰	۳-۶-۳-۴- نیتروژن کل خاک
۵۱	۳-۶-۳-۵- فسفر قابل جذب خاک
۵۲	۳-۶-۳-۶- کربن آلی خاک
۵۳	۳-۶-۳-۷- کربن آلی ناپایدار
۵۴	۳-۶-۳-۸- شاخص مدیریت کربن
۵۵	۳-۶-۳-۹- ترسیب کربن خاک
۵۶	۳-۷- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها
۵۷	فصل چهارم: نتایج و بحث
۵۸	۴-۱- ارتفاع بوته
۶۰	۴-۲- ویژگی‌های بلال
۶۴	۴-۳- وزن صد دانه

۴-۴	عملکرد بیولوژیک	۶۵
۵-۴	عملکرد دانه	۶۹
۶-۴	شاخص برداشت	۷۴
۷-۴	جذب نیتروژن و فسفر دانه	۷۶
۸-۴	تولید اولیه خالص (NPP) اندام‌های هوایی و زیرزمینی	۷۹
۹-۴	نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی (ساقه + برگ) و ریشه	۸۳
۱۰-۴	pH خاک	۸۵
۱۱-۴	رطوبت وزنی خاک	۸۶
۱۲-۴	تنفس پایه خاک	۸۹
۱۳-۴	نیتروژن کل خاک	۹۳
۱۴-۴	فسفر قابل جذب خاک	۹۷
۱۵-۴	ماده آلی خاک	۱۰۰
۱۶-۴	شاخص مدیریت کربن	۱۰۴
۱۷-۴	ترسیب کربن خاک	۱۰۷
۱۸-۴	نتیجه‌گیری کلی	۱۱۰
۱۹-۴	پیشنهادهای	۱۱۲
	منابع	۱۲۲

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر ارتفاع بوته ذرت در دو سال زراعی (الف) ۱۳۹۴-۹۵ و (ب) ۱۳۹۵-۹۶.....	۵۸
شکل ۲-۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر طول بلال ذرت در دو سال زراعی (الف) ۱۳۹۴-۹۵ و (ب) ۱۳۹۵-۹۶.....	۶۱
شکل ۳-۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر قطر بلال ذرت در دو سال زراعی (الف) ۱۳۹۴-۹۵ و (ب) ۱۳۹۵-۹۶.....	۶۱
شکل ۴-۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تعداد ردیف در بلال ذرت در دو سال زراعی (الف) ۱۳۹۴-۹۵ و (ب) ۱۳۹۵-۹۶.....	۶۲
شکل ۵-۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تعداد دانه در ردیف بلال ذرت در دو سال زراعی (الف) ۱۳۹۴-۹۵ و (ب) ۱۳۹۵-۹۶.....	۶۲
شکل ۶-۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر وزن صد دانه ذرت در دو سال زراعی (الف) ۱۳۹۴-۹۵ و (ب) ۱۳۹۵-۹۶.....	۶۴
شکل ۷-۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد بیولوژیک ذرت در دو سال زراعی (الف) ۱۳۹۴-۹۵ و (ب) ۱۳۹۵-۹۶.....	۶۶
شکل ۸-۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد دانه ذرت در دو سال زراعی (الف) ۱۳۹۴-۹۵ و (ب) ۱۳۹۵-۹۶.....	۷۰

- شکل ۴-۹- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر شاخص برداشت ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۷۵
- شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر جذب نیتروژن دانه ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۷۷
- شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر جذب فسفر دانه ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۷۸
- شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۸۰
- شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۸۲
- شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۸۴
- شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر رطوبت وزنی خاک در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۸۷
- شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تنفس پایه خاک در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴..... ۹۰
- شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین اثر متقابل خاکورزی × مدیریت تغذیه‌ای بر تنفس پایه خاک در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴..... ۹۱
- شکل ۴-۱۸- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تنفس پایه خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۹۲

شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر نیتروژن کل خاک در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۹۴

شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر نیتروژن کل خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۹۶

شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر فسفر قابل جذب خاک در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۹۸

شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر ماده آلی خاک در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۱۰۲

شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر شاخص مدیریت کربن در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵..... ۱۰۶

شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر ترسیب کربن خاک در مدت ۹۶-۱۳۹۴..... ۱۰۸

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳- میانگین دما و مقادیر بارندگی ماهانه در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶.....	۴۲
جدول ۲-۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش.....	۴۳
جدول ۳-۳- خصوصیات شیمیایی کود دامی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶.....	۴۴
جدول ۴-۳- خصوصیات شیمیایی بیوپچار.....	۴۴
جدول ۱-۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ارتفاع و ویژگی‌های بلال ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶.....	۱۱۴
جدول ۲-۴- میانگین ارتفاع و ویژگی‌های بلال ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶.....	۱۱۴
جدول ۳-۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶.....	۱۱۴
جدول ۴-۴- میانگین وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶.....	۱۱۵
جدول ۵-۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) جذب عناصر غذایی دانه، تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی و زیرزمینی ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶.....	۱۱۶

- جدول ۴-۶- میانگین جذب عناصر غذایی دانه، تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی و زیرزمینی ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ ۱۱۶
- جدول ۴-۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی و ریشه ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ ۱۱۷
- جدول ۴-۸- میانگین نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی و ریشه ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ ۱۱۷
- جدول ۴-۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) pH، رطوبت وزنی خاک، تنفس پایه خاک و تنفس پایه خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ ۱۱۸
- جدول ۴-۱۰- مقایسه میانگین pH، رطوبت وزنی خاک، تنفس پایه خاک و تنفس پایه خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ ۱۱۸
- جدول ۴-۱۱- مقایسه میانگین pH تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ ۱۱۹
- جدول ۴-۱۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نیتروژن کل خاک، نیتروژن کل خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی و فسفر قابل جذب خاک تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ ۱۲۰

جدول ۴-۱۳- میانگین نیتروژن کل خاک، نیتروژن کل خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی و فسفر قابل

جذب خاک تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ ۱۲۰

جدول ۴-۱۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ماده آلی، شاخص مدیریت کربن و ترسیب کربن خاک

تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

..... ۱۲۱

جدول ۴-۱۵- مقایسه میانگین ماده آلی، شاخص مدیریت کربن و ترسیب کربن خاک تحت تأثیر

سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ ۱۲۱

فصل اول: مقدمه

از سال ۱۸۸۰ میلادی میانگین جهانی دما ۰/۸ درجه سانتی گراد افزایش یافته و ممکن است تا سال ۲۱۰۰ میلادی، افزایش دمای ۳ تا ۷ درجه سانتی گراد رخ دهد (لال، ۲۰۱۱). این افزایش دما تابستان‌های خشک، زمستان‌های گرم و بارش‌های خیلی کم یا خیلی زیاد را در پی خواهد داشت (لال، ۲۰۰۴a). غلظت دی‌اکسید کربن نیز از ۲۸۰ پی‌پی‌ام در دوره قبل از انقلاب صنعتی به حدود ۴۰۰ پی‌پی‌ام افزایش یافته که منجر به بروز تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی شده است. به‌طور کلی تغییر اقلیم به افزایش فعالیت‌های انسانی نسبت داده شده است که باعث تشدید انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروژن و متان می‌گردد که در این میان دی‌اکسید کربن بیشترین اثر را داشته است. گزارش شده است که فعالیت‌های انسان در اکوسیستم‌های کشاورزی در تولید دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن به‌ترتیب ۲۵، ۵۰ و ۷۰ درصد نقش دارد (هاتچینسون و همکاران، ۲۰۰۷).

پدیده گرمایش جهانی به‌دلیل اثراتی که بر منابع، کشاورزی، کارایی انرژی، آب و هوا، محیط و ... دارد به یک چالش نگران‌کننده جهانی تبدیل شده است. امروزه تغییر اقلیم به‌صورت یکی از چالش‌های مهم انسان در آمده و طیف گسترده‌ای از مردم شامل دانشمندان، سیاستمداران و سایر اقشار را به‌خود مشغول داشته است. گرچه تغییر اقلیم در طی تاریخ همیشه وجود داشته است، ولی در حال حاضر افزایش فعالیت‌های بی‌رویه انسان به‌شدت آن افزوده و تغییر اقلیم به‌شکل فعلی، کلیه فعالیت‌های بشر را تحت تأثیر قرار خواهد داد و به‌همین دلیل نوعی جنبش جهانی برای کاهش مخاطرات آن در حال وقوع است (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۹).

بدون تردید کشاورزی به علت ماهیت بیولوژیکی آن از یک طرف و جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی مرتبط به آن از طرف دیگر بیشترین آسیب را از تغییرات اقلیمی خواهد دید و به‌همین دلیل ارائه راهکارهایی پایدار به‌ویژه در خصوص مدیریت زراعی برای کاهش مخاطرات و نیز سازگاری به آن بسیار ضروری است.

به دلیل اینکه دی اکسید کربن اتمسفر با بسیاری از ذخایر کربن شامل اقیانوسها، زمین و ... مرتبط است و کاهش انتشار کربن و افزایش مخازن آن از اهمیت زیادی برای کاهش گرمایش جهانی برخوردار می باشد، افزایش ذخیره کربن آلی خاک به عنوان یکی از راهکارهای تخفیف برای کاهش اثرات تغییرات اقلیمی پیشنهاد شده است. بنابراین افزایش نگرانی در مورد تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه ای به ویژه دی اکسید کربن توجه به موضوع ترسیب کربن^۱ را افزایش داده تا میزان انتشار دی اکسید کربن کاهش یابد. اراضی کشاورزی می توانند تا سال ۲۰۳۰ میلادی مقدار ۶۰۰۰-۵۵۰۰ مگاتن دی اکسید کربن را در سال ترسیب نمایند (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین باید از راهکارهایی بهره ببریم که نه تنها انتشار دی اکسید کربن کاهش یابد، بلکه کیفیت خاک و تولید محصول را افزایش دهیم.

بسته به نوع و نحوه استفاده از اراضی، ذخایر کربن موجود در خاک می توانند به عنوان منبع یا مخزنی برای ذخایر کربن در اتمسفر عمل نمایند (اسچیمل و همکاران، ۲۰۰۱). در اکوسیستم های کشاورزی به دلیل توان بالای ذخیره کربن در خاک ها می توان با مدیریت مناسب و صحیح تولید محصولات کشاورزی، در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و تخفیف اثرات تغییر اقلیم نقش مهمی را ایفا نمود. مدیریت زراعی مناسب تولید محصولات مانند خاکورزی حفاظتی^۲، کوددهی مناسب و تناوب های گیاهی می توانند علاوه بر بهبود عملکرد، باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و افزایش ترسیب کربن شوند (اسچلسینگر، ۱۹۹۹).

استفاده از کودهای نیتروژن در کشاورزی فشرده افزایش یافته که همراه با هدررفت نیتروژن از خاک های کشاورزی به محیط می باشد (بومن و همکاران، ۲۰۰۲). امروزه مهمترین منبع غالب کود نیتروژن در جهان کود اوره می باشد. البته استفاده از آن همراه با هدررفت مقدار زیادی NH_3 می باشد. استفاده از این کود همراه با کاهش کارایی آن، خطراتی برای محیط زیست و سلامتی انسان، اسیدی

1- Carbon Sequestration

2- Conservation Tillage

شدن، غنی شدن محیط از نیتروژن و شکل‌گیری آلاینده‌ها می‌باشد (تورنر و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین استفاده از کود اوره در سیستم‌های کشاورزی باعث رهاسازی اکسید نیتروژن به اتمسفر و نیترات به آب‌ها می‌شود.

همچنین سیستم‌های خاکورزی می‌توانند باعث بروز تغییراتی در ویژگی‌های خاک و توزیع کربن آلی خاک همراه با تغییراتی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و ترسیب کربن آلی خاک شوند (یوسیری و لال، ۲۰۰۹). سیستم‌های خاکورزی مرسوم مانند خاکورزی با گاواهن برگرداندار به‌شدت لایه سطحی خاک را تخریب می‌کنند (سیکس و همکاران، ۱۹۹۹). در کوتاه مدت این نوع سیستم‌های خاکورزی از طریق زیر و رو کردن و برهم زدن خاک، محیط مناسبی را برای سبز شدن گیاه، رشد اولیه سریع، جذب عناصر غذایی و عملکرد بالای محصول فراهم می‌کنند. به هر حال در طولانی مدت باعث تخریب ساختمان خاک، افزایش معدنی شدن ماده آلی خاک، فشردگی و فرسایش خاک می‌شوند. همه این فرآیندها باعث تخریب خاک و مانع پایداری اراضی شده، از این‌رو در طی دو دهه اخیر استفاده از سیستم‌های خاکورزی حفاظتی مانند بی‌خاکورزی^۱ و کم‌خاکورزی^۲ مورد توجه قرار گرفته است (تریپلت و دیسک، ۲۰۰۸؛ راکستروم و همکاران، ۲۰۰۹). خاکورزی حفاظتی به‌دلیل فواید آن (شامل کاهش فرسایش خاک، بهبود کارایی اقتصادی، کارایی استفاده از انرژی، کاهش خطرات تولید، حفظ ماده آلی خاک و بهبود کیفیت خاک) یکی از تکنولوژی‌های مهم و مناسب در کشاورزی پایدار به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که سیستم‌های بی‌خاکورزی و کم‌خاکورزی به‌دلیل کاهش بهم خوردگی خاک، کربن آلی خاک را افزایش می‌دهند (لال و کیمبل، ۱۹۹۷؛ پوجت و لال، ۲۰۰۵).

1- No Tillage

2- Reduced Tillage

یکی دیگر از راه‌های مؤثر برای افزایش ترسیب کربن آلی خاک و تأمین مواد غذایی برای گیاهان استفاده از کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی می‌باشد. کشت طولانی مدت گیاهان بدون استفاده از کودهای آلی منجر به کاهش کربن آلی و محتوی نیتروژن و عملکرد محصول می‌شود. در مطالعات زیادی گزارش شده است که استفاده از کودهای آلی به‌ویژه کود دامی به تنهایی یا در ترکیب با کودهای شیمیایی محتوی کربن را افزایش داده است (بلیر و همکاران، ۲۰۰۶؛ رادراپا و همکاران، ۲۰۰۶؛ مانا و همکاران، ۲۰۰۷).

امروزه به بیوچار^۱ نیز به‌دلیل توانایی آن در ذخیره کربن و کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای توجه زیادی شده است. در دهه‌های اخیر مطالعات زیادی بر پتانسیل قابل توجه بیوچار برای افزایش عملکرد محصول (جفری و همکاران، ۲۰۱۱؛ بایدرمن و هارپل، ۲۰۱۳؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۳b) و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (ولف و همکاران، ۲۰۱۰) تأکید کرده‌اند. بیوچار از سوختن ناقص زیست‌توده در غیاب اکسیژن تولید شده (پنگ و همکاران، ۲۰۱۱) که باعث بهبود خصوصیات شیمیایی (pH و ظرفیت تبادل کاتیونی) و خصوصیات فیزیکی (نگهداری آب خاک و هدایت هیدرولیکی) می‌شود. بنابراین ممکن است بیوچار به‌عنوان یک تکنولوژی برد - برد برای کاهش گرمایش جهانی و امنیت غذایی پیشنهاد شود.

بسیاری از نقاط جهان و ایران تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم است و از این رو توجه به مسائلی مانند بهبود ترسیب کربن خاک می‌تواند حائز اهمیت باشد، چرا که ارتباط قابل ملاحظه‌ای بین این دو پدیده وجود دارد. از یک سو افزایش دمای محیط در شرایط تغییر اقلیم باعث افزایش سرعت تجزیه مواد آلی خاک شده و این موضوع باعث افزایش تلفات کربن آلی خاک می‌شود، از سویی دیگر وقوع ترسیب کربن در خاک موجب کاهش غلظت گاز دی‌اکسید کربن اتمسفری شده و در نتیجه اثرات تغییر اقلیم را کاهش می‌دهد (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۴). نگرانی در مورد مسائلی مانند امنیت جهانی غذا، توسعه سیستم‌های

کشاورزی پایدار و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تغییرات اساسی در مدیریت کشاورزی را ایجاب می‌کند و باید در مدیریت‌های اتخاذ شده، مسائلی از قبیل حفظ ذخایر ماده آلی خاک، کارایی استفاده از آب و کاهش تغییرات اقلیمی مدنظر قرار گیرد. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد، تولید اولیه خالص، برخی خصوصیات خاک و پتانسیل ترسیب کربن در زراعت گیاه ذرت طی دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ در شرایط آب و هوایی شاهرود انجام شد.

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- گازهای گلخانه‌ای

سه گاز گلخانه‌ای که فعالیت‌های کشاورزی در انتشار آن‌ها نقش دارد شامل دی‌اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4) و اکسید نیتروژن (N_2O) می‌باشد. گازهای گلخانه‌ای پرتوهای مادون قرمز را جذب کرده که مانع خروج گرما و در نتیجه گرم شدن سطح زمین می‌شوند (اسنیدر و همکاران، ۲۰۰۸). از ابتدای انقلاب صنعتی یعنی سال ۱۸۵۰ تا ابتدای قرن ۲۱ غلظت گازهای ذکر شده به ترتیب ۳۰، ۱۲۵ و ۱۵ درصد افزایش یافته و این موضوع باعث شده تا انرژی روزانه نگهداری شده در اتمسفر افزایش یابد که سهم گازهای دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن در این پدیده به ترتیب ۷۰، ۲۳ و ۷ درصد می‌باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۶).

در سال ۲۰۱۸ میلادی غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر ۴۰۸/۹۲ پی‌پی‌ام گزارش شده است (۲۰۱۸)،^۱ (ESRL) و پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۰ میلادی به حدود ۷۰۰ پی‌پی‌ام افزایش یابد (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین از سال ۱۸۵۰ میلادی میانگین جهانی دما ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و ممکن است در انتهای این قرن، میانگین جهانی دما ۱/۸ تا ۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به انتهای قرن قبلی گرم‌تر باشد (ویلر و ون براون، ۲۰۱۳). این شرایط بر بسیاری از اکوسیستم‌ها، به‌عنوان مثال اکوسیستم‌های کشاورزی تأثیر گذاشته و باعث تهدید امنیت غذایی برای جمعیت در حال رشد جهان خواهد شد.

۲-۲- تغییر اقلیم و اثرات آن بر ذرت

یکی از پدیده‌های بسیار مهم و حیاتی مرتبط با حیات بشر مسأله تغییر اقلیم است که در بسیاری از نقاط جهان با شدت کم و زیاد آثار خود را نشان داده است. عامل اصلی وقوع تغییرات درازمدت اقلیمی در

1- Earth System Research Laboratory

کره زمین گرمایش جهانی ناشی از تشدید اثرات گلخانه‌ای می‌باشد که در این بین نقش گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن بسیار برجسته می‌باشد.

از پنج دهه گذشته به دلیل گرم شدن زمین، جهان در معرض تغییرات بی‌سابقه‌ای در اقلیم قرار گرفته است. تغییر اقلیم باعث افزایش دمای کره زمین شده است که در دو دوره (۱۹۴۵-۱۹۱۰) و (به بعد- ۱۹۷۶) افزایش دما بیش از هر زمان دیگری بوده است (۲۰۱۴،^۱ IPCC). ارزیابی‌های انجمن بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC) نشان‌دهنده این است که این تغییرات همراه با وقوع حوادث‌های مختلفی در متغیرهای اقلیمی می‌باشد (تریپسی و همکاران، ۲۰۱۶).

با وجود اهمیت زیاد تولیدات صنعتی در جهان، کشاورزی در ایجاد امنیت غذایی و آسایش جمعیت جهان نقشی اساسی دارا می‌باشد. اثرات ناشی از تغییر اقلیم بر امنیت غذایی، تهدیدی است که جهان در قرن بیست و یک با آن سر و کار دارد. احتمالاً تغییر اقلیم در مناطقی که دمای بالا و بارش‌های ناکافی دارند اثرات زیادی بر رشد گیاهان خواهد داشت. از آنجا که تغییرات دما و رطوبت تأثیر مستقیمی بر تولیدات کشاورزی دارند، بنابراین در شرایط تغییر اقلیم کشاورزی تأثیرات زیادی پذیرفته و ممکن است طول فصل رشد و در نتیجه پتانسیل تولید مناطق مختلف جهان تحت تأثیر قرار گیرد (برومند رضازاده، ۱۳۹۲). تغییر اقلیم به‌طور مستقیم (افزایش دما، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، تغییرات بارندگی و وقوع خشکی) و غیرمستقیم (تغییر رقابت بین گیاهان سه و چهار کربنه، کاهش تعرق، تغییر در دینامیک معدنی شدن مواد، تغییر در طول فصل رشد، تغییر میزان فرسایش خاک، تغییر کیفیت محصول، تحریک تثبیت نیتروژن، تغییر خسارت علف‌های هرز و آفات و تغییر در گونه‌های مرتعی) بر تولید محصولات زراعی تأثیرگذار خواهد بود (کوچکی و همکاران، ۲۰۰۶).

1- Intergovernmental Panel on Climate Change

به دلیل اینکه گیاه تحت تأثیر عوامل مختلفی (مانند دما، بارش، رطوبت، فشار و ...) قرار دارد، بنابراین در شرایط مختلف رفتارها و اثرات متفاوتی را از خود نشان خواهد داد. واکنش گیاهان به افزایش دما، دی‌اکسید کربن و تغییرات بارش از طریق مدل‌ها شبیه‌سازی شده است. برخی از این مطالعات نشان داده‌اند که به دلیل اثرات مثبت دی‌اکسید کربن بر فتوسنتز و کاهش تعرق، افزایش دی‌اکسید کربن بر برخی گیاهان اثرات مثبتی خواهد داشت، در حالی که این اثرات با افزایش دمای کره زمین خنثی شده و گیاهان مختلف واکنش‌های متفاوتی نشان خواهند داد (میشرا و همکاران، ۲۰۱۳).

ذرت یکی از عمده‌ترین منابع غذایی است و هشتاد درصد از سهم بازار جهانی را دارا می‌باشد و تقریباً در صد میلیون هکتار از اراضی جهان که عمدتاً در کشورهای در حال توسعه قرار دارند، کشت می‌شود (تریپسی و همکاران، ۲۰۱۶). تغییر اقلیم از طریق تأثیر بر حاصلخیزی خاک، آفات و بیماری‌ها (تریپسی و همکاران، ۲۰۱۶) و خشکی (اوسنی و مساریرمبی، ۲۰۱۱) بر تولید ذرت اثر خواهد گذاشت. یکی از دلایل اصلی کاهش عملکرد ذرت افزایش دما همراه با کاهش بارندگی است (ونگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ کایرنس و همکاران، ۲۰۱۲) و گیاه ذرت در مرحله تولید زایشی به تنش خشکی بسیار حساس می‌باشد (کاکیر، ۲۰۰۴). علاوه بر این اندام‌ها و مراحل مختلف رشد گیاه ذرت به تنش گرما حساس است که حساسیت آن به فرآیند متابولیسمی فعال در آن مرحله بستگی دارد. همچنین افزایش دما بر سنتز پروتئین در مراحل رشد گیاهچه‌ای و رویشی گیاه به‌طور منفی اثر گذاشته و با افزایش دما تغییرات فیزیولوژیکی مانند تغییر در استفاده و تسهیم کربن، کاهش سرعت طویل شدن برگ، سطح برگ، اندام هوایی و سرعت جذب دی‌اکسید کربن برای فتوسنتز اتفاق خواهد افتاد (کایرنس و همکاران، ۲۰۱۲). ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که عملکرد ذرت در هر درجه روز، در دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۱/۷-۱ درصد در شرایط خشکی و بارش مطلوب کاهش خواهد یافت (لوبل و همکاران، ۲۰۱۱).

همچنین گزارش شده است که افزایش دما در آفریقا و آمریکای لاتین تا سال ۲۰۵۵ میلادی می‌تواند باعث کاهش ده درصدی عملکرد ذرت شود (جونز و تورنتون، ۲۰۰۳). در حالی که انتظار می‌رود عملکرد ذرت در بعضی از قسمت‌ها کاهش یابد، اما در بعضی از مناطقی که ذرت گیاه عمده‌ای نمی‌باشد، ممکن است عملکرد افزایش یابد (ونگ و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین تغییر دما ممکن است منجر به تغییر مناطق کاشت ذرت به منطقه‌های جدید و ایجاد واکنش‌های سازگاری مختلف در این گیاه شود.

در پژوهشی در شرایط آب و هوایی مشهد اثرات تغییر اقلیم تحت سناریوهای مختلف معرفی شده توسط انجمن بین‌المللی تغییر اقلیم بر رشد و نمو و مراحل فنولوژیک ذرت بررسی و گزارش شد که در اثر وقوع تغییر اقلیم طول دوره رشد و عملکرد گیاه با کاهش مواجه خواهد شد. افزایش دما تحت سناریوهای مورد بررسی بر طول فصل رشد، مرحله گلدهی و فتوسنتز ذرت تأثیر منفی گذاشته و از این طریق منجر به کاهش عملکرد گیاه شد. همچنین پیش‌بینی‌ها نشان داد که عملکرد ارقام مختلف ذرت تحت تأثیر تغییرات اقلیمی از ۶/۴ تا ۴۲/۱۵ درصد نسبت به شرایط کنونی کاهش خواهد یافت (مرادی، ۱۳۹۲).

۲-۳- اثر عملیات کشاورزی بر تغییر اقلیم و تولید گازهای گلخانه‌ای

کشاورزی بخش قابل‌توجهی از فعالیت‌های بشر را شامل می‌شود، بنابراین بوم‌نظام‌های کشاورزی و عملیات به‌کار گرفته شده در آن بخش مهمی از انواع گازهای گلخانه‌ای را تولید می‌کنند. دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروژن و متان از مهمترین گازهای گلخانه‌ای هستند که عملیات کشاورزی بیش از ۲۰ درصد در افزایش این نوع گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر نقش دارند (لمک و همکاران، ۲۰۰۷). سهم کشاورزی در پدیده تغییر اقلیم حدود ۱۳/۵ درصد می‌باشد که از طریق فعالیت‌هایی از قبیل حذف جنگل‌ها، تبدیل خاک‌های بکر به زمین‌های زراعی، کشت و کار غرقابی برنج، تولید نیشکر، سوزاندن بقایای گیاهان زراعی، پرورش نشخوارکنندگان، استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژن، خاکورزی فشرده و ... در انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر دخالت دارد که حدود ۶۰ درصد از انتشار جهانی اکسید نیتروژن، ۳۹ درصد از انتشار

جهانی متان و یک درصد از انتشار جهانی دی اکسید نیتروژن مربوط به بخش کشاورزی می باشد (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۴).

کشاورزی فشرده در سراسر جهان منجر به تخریب خاک های کشاورزی، کاهش ماده آلی خاک، تخریب ساختمان و کاهش کارکرد خاک شده است که در طولانی مدت تهدیدی برای عملکرد گیاهان در آینده می باشد (پگلیای و همکاران، ۲۰۰۴؛ دهائن و همکاران، ۲۰۰۸). توسعه یک سیستم پیشرفته کشاورزی نه فقط به افزایش بازده، بلکه به مدیریت صحیح چرخه عناصر غذایی برای حفظ و بقای خود وابسته است. این سیستم پیشرفته عمدتاً به استفاده از منابع آلی و بیولوژیک وابسته است و از نهاده های مصنوعی مانند کودهای شیمیایی نیز در صورت لزوم و در حد بهینه بهره می گیرد. در سیستم های کشاورزی پایدار استفاده از منابع تجدیدپذیری که حداکثر محاسن اکولوژیکی و حداقل مضرات زیست محیطی را داشته باشند، امری ضروری است. استفاده از روش های مختلف کشاورزی پایدار مانند استفاده از کودهای آلی و بیولوژیک، گیاهان پوششی، تناوب زراعی، عدم خروج یا سوزاندن بقایای گیاهی، بالا بردن کارایی مصرف کودها به خصوص نیتروژن و خاکورزی حداقل، ابزاری برای کاهش انتشار آلاینده های محیطی در کشاورزی است که در افزایش موجودی کربن خاک نیز نقش دارند. این روش ها موجب بالا رفتن کارایی مصرف نهاده ها، کاهش تلفات عناصر و کاهش وابستگی به نهاده های برون مزرعه ای می شوند که مجموعه این مزایا می تواند در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای از سیستم های کشاورزی مفید باشد (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۴).

ماده آلی خاک به دلیل وجود رابطه بین کارکردهای اکوسیستم های کشاورزی با میزان آن، از اجزای کلیدی خاک محسوب می شود. میزان کربن موجود در خاک به ورود کربن از طریق بقایای گیاهی و کاهش کربن از طریق فعالیت میکروبی بستگی دارد. جریان کربن به داخل و خارج خاک از طریق اتخاذ تصمیم گیری های مدیریتی کنترل می شود. برخی از فعالیت های کشاورزی منجر به تخلیه کربن آلی خاک

و کاهش کیفیت آن می‌گردند. به‌عنوان مثال سیستم‌های خاکورزی مرسوم باعث تخلیه کربن آلی خاک می‌شوند. این نوع سیستم‌ها فعالیت میکروبی خاک را از طریق افزایش جریان اکسیژن تشدید کرده و خاکدانه‌ها را در معرض تجزیه شدن قرار می‌دهند. در حالی که سیستم‌های خاکورزی حفاظتی مخصوصاً بی‌خاکورزی به‌عنوان یک راه مؤثر برای افزایش ترسیب کربن در لایه‌های سطحی خاک پیشنهاد شده است (وست و پُست، ۲۰۰۲؛ بیکر و همکاران، ۲۰۰۷).

عملیات خاکورزی خصوصیات فیزیکی (وزن مخصوص ظاهری، خلل و فرج و خاکدانه‌بندی خاک)، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تغییر می‌دهند، بنابراین بر انتشار گازهای گلخانه‌ای مؤثر می‌باشند. دی‌اکسید کربن مهمترین گاز گلخانه‌ای در اراضی زراعی مناطق خشک می‌باشد که ۸۵ درصد از پتانسیل گرمایش جهانی را شامل می‌شود (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳). یوسیری و لال (۲۰۰۹) بیان کردند که انتشار دی‌اکسید کربن در خاکورزی با گاواهن برگرداندار ($0/3 \pm 6/6$ مگاگرم در هکتار در سال) و خاکورزی با چپزل ($0/4 \pm 6/2$ مگاگرم در هکتار در سال) به‌طور معنی‌داری در مقایسه با بی‌خاکورزی ($0/5 \pm 5/5$ مگاگرم در هکتار در سال) بالاتر بود و نتایج بررسی‌های آن‌ها نشان داد که در مدت فصل رشد، بی‌خاکورزی انتشار دی‌اکسید کربن را در مقایسه با خاکورزی با گاواهن برگرداندار و چپزل به‌طور متوسط به‌ترتیب $0/7$ و $0/6$ مگاگرم در هکتار در سال کاهش داد. در پژوهش دیگری استفاده از چپزل به جای خاکورزی با گاواهن برگرداندار با کاهش مصرف سوخت باعث کاهش تولید دی‌اکسید کربن در هکتار به میزان ۳۹ کیلوگرم شد. بنابراین خاکورزی حفاظتی به‌دلیل استفاده کمتر از نهاده‌ها منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده، ولی سطوح ترسیب کربن بین سیستم‌های خاکورزی تفاوت معنی‌داری نداشت (میر اورپیچ و همکاران، ۲۰۰۶).

استفاده از کود شیمیایی نیتروژن مانند اوره علاوه بر افزایش فعالیت میکروبی، از طریق هیدرولیز اوره باعث انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود. همچنین هیدرولیز اوره در خاک باعث تولید آمونیوم شده که به

نیتريت و نیترات اکسید و در این فرآیند، اکسید نیتروژن نیز تولید می‌گردد (دیاز-روجاس و همکاران، ۲۰۱۴).

در مطالعات انجام شده در مورد بیوچار نیز لیو و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند بعد از اضافه کردن ۴۰ تن در هکتار بیوچار به خاک به‌ترتیب در طی فصل‌های رشد اول، دوم و پنجم در زمین‌های تحت کشت ذرت و گندم میزان انتشار اکسید نیتروژن ۴۲، ۳۴ و ۳۲ درصد کاهش یافت. دیاز-روجاس و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که استفاده از زغال چوب^۱ اثر معنی‌داری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در خاک تحت کشت گندم و کوددهی شده با کود اوره و لجن فاضلاب نداشت، اما لجن فاضلاب باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شد.

۲-۴- ترسیب کربن

تغییر اقلیم به‌طور قابل‌توجهی بر بسیاری از اکوسیستم‌ها و نیز بر فعالیت‌های کشاورزی تأثیر گذاشته است و ادامه روند کنونی این پدیده اثرات قابل‌توجهی بر رشد، نمو و عملکرد محصولات زراعی و در نهایت امنیت غذایی خواهد داشت. در سال‌های اخیر بسیاری از پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم بروز کرده و در صورتی‌که روند فعلی تخریب محیط زیست و انتشار آلاینده‌ها ادامه یابد، به‌نظر می‌رسد که شدت پیامدهای این رخداد در آینده نیز افزایش پیدا خواهد کرد. موجودات و از جمله گیاهان در طی دوران‌هایی طولانی با محیط اطراف خود سازگاری پیدا کرده‌اند و از این رو وقوع هر نوع تغییرات شدید اقلیمی اثرات بسیاری بر الگوهای رشد و نمو و نیز توزیع مکانی و زمانی گونه‌های گیاهی دارد و یا حتی ممکن است باعث حذف تدریجی آن‌ها از بوم‌نظام‌های کشاورزی و طبیعی گردد.

به تمامی عملیاتی که باعث انتقال دی‌اکسید کربن اتمسفری به مخازن طولانی مدت شده و کربن را به‌شکلی حفظ نماید که بلافاصله به اتمسفر برنگردد، ترسیب کربن گفته می‌شود. در تعریف دیگری به

1- Charcoal

جذب دی‌اکسید کربن اتمسفری توسط گیاه و ذخیره آن به‌صورت ترکیبات آلی کربن‌دار مانند هیدرات‌های کربن در پیکر گیاه ترسیب کربن گفته شده است (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۴). اهمیت این فرآیندها این است که هر عاملی که موجب بهبود ترسیب کربن در خاک و زیست‌توده گردد، منجر به افزایش ماده آلی خاک خواهد شد که این مسأله تأثیر مثبتی بر جنبه‌های محیطی، کشاورزی و تنوع زیستی اکوسیستم برجای خواهد گذاشت. حدود ۱۵۰۰ گیگاتن کربن آلی در خاک‌های جهان ذخیره می‌باشد (اسواران و همکاران، ۱۹۹۳). از این رو لازم است تا تمامی راهکارهای ممکن برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص دی‌اکسید کربن در کانون توجهات قرار گرفته و به موضوع ترسیب کربن توجه بیشتری معطوف گردد (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۴).

مهمترین روش ورود کربن به بیوسفر از طریق فرآیند فتوسنتز یا تولید اولیه ناخالص است که شامل جذب کربن از اتمسفر توسط گیاهان می‌باشد. بخشی از این کربن از طریق فرآیندهای تنفس گیاه (تنفس اتوتروفیک)، تجزیه بقایا و ماده آلی خاک (تنفس هتروتروفیک) و نیز عواملی مانند آتش، خشکی، فعالیت‌های انسانی و غیره از دست می‌رود. آسیمیلایون فتوسنتزی دی‌اکسید کربن اتمسفری توسط گیاهان خشکی منجر به ترسیب کربن در اکوسیستم‌های خشکی می‌شود. مقداری از کربن جذب شده توسط زیست‌توده گیاهی به ریشه‌ها اختصاص می‌یابد که می‌تواند به ذخیره کربن آلی خاک تبدیل شود (جانسون و همکاران، ۲۰۱۰). در جریان فتوسنتز ۱۲۳ گیگاتن کربن از اتمسفر جذب می‌گردد که به نام تولید اولیه ناخالص شناخته می‌شود. نیمی از این مقدار، توسط تنفس گیاه آزاد شده و ۶۰ گیگاتن به تولید اولیه خالص تبدیل می‌شود. بخش عمده‌ای از این کربن نیز در مرحله بعد به متابولیسم هتروتروفیک اختصاص یافته و از طریق تنفس میکروبی به اتمسفر برمی‌گردد. آنچه که در نهایت باقی می‌ماند حدود ۱۰ گیگاتن در هر سال است که تولید خالص اکوسیستم نام دارد. اما بخش عمده‌ای از این کربن نیز در اثر تغییر کاربری زمین، تنش‌های زیستی، آتش‌سوزی‌ها و سایر مداخلات از دست می‌رود. با در نظر

گرفتن نقش این عوامل، ترسیب کربن درازمدت توسط گیاهان در اکوسیستم خشکی بخشی از تولید خالص اکوسیستم بوده و تحت عنوان تولید خالص بیوم شناخته می‌شود. مقدار سالیانه تولید خالص بیوم در مقیاس جهانی در طی دهه‌های گذشته بسیار متفاوت و بین ۰/۳ تا ۵ گیگاتن بوده است. مقدار فعلی تولید خالص بیوم در مقیاس جهانی حدود ۳ گیگاتن در هر سال می‌باشد (جانسون و همکاران، ۲۰۱۰).

خاک‌های اراضی زراعی می‌توانند به‌عنوان منبع یا مخزنی برای دی‌اکسید کربن اتمسفر عمل نمایند. دینامیک کربن در اکوسیستم‌های اراضی کشاورزی به‌شدت تحت تأثیر فرآیندهایی مانند فتوسنتز و تجزیه است که عملیات کشاورزی بر آن‌ها تأثیر می‌گذارند. چندین مطالعه نشان داده‌اند که تبدیل اراضی زراعی به مرتع ذخیره کربن آلی خاک را افزایش می‌دهند (لیفلد و فوهرر، ۲۰۰۹؛ ونگ و همکاران، ۲۰۰۹) که به‌دلیل افزایش تقاضای غذا در کشورهای در حال توسعه (بورلاگ، ۲۰۰۷) اراضی زراعی کمتری می‌توانند به مرتع تبدیل شوند. بنابراین تغییر در عملیات کشاورزی نقشی اساسی در مدیریت ذخیره کربن آلی خاک ایفا خواهد نمود. ترسیب کربن با استفاده از مدیریت‌های طولانی مدت و جدید خاک و گیاه برای افزایش ذخیره کربن و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن و افزایش کیفیت خاک و تولید محصول ضروری می‌باشد. ترسیب نیتروژن نیز برای کاهش هزینه و مقدار مصرف کود نیتروژن، آبشویی و انتشار اکسید نیتروژن لازم می‌باشد (سینجو و همکاران، ۲۰۰۸).

ماده آلی خاک یکی از اجزای مهم اکوسیستم‌های کشاورزی است که باعث بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، کاهش خطرات آلودگی آب و تخریب خاک می‌شود. افزایش ماده آلی خاک باعث استفاده کارآمدتر از منابع نیز می‌شود. برنر و همکاران (۲۰۰۸) پیشنهاد کردند استفاده از کم‌خاکورزی گزینه‌ای مناسب برای بهبود کربن آلی خاک می‌باشد. افزایش ماده آلی خاک در شرایط کاهش خاکورزی به‌دلیل کاهش برهم زدن و زیر و رو شدن و در نتیجه کاهش تجزیه ماده آلی خاک می‌باشد (سیکس و همکاران، ۲۰۰۲a؛ وست و پُست، ۲۰۰۲). خاکورزی مرسوم مخصوصاً استفاده از گاواهن برگرداندار، بقایای

محصول را به داخل خاک برده و آن‌ها را با بقایای داخل زمین مخلوط می‌کند (رایت و هونس، ۲۰۰۵؛ دولان و همکاران، ۲۰۰۶). این عمل باعث قرارگیری سوبسترای تشکیل دهنده ماده آلی خاک در یک موقعیت مناسب برای فعالیت ریزجانداران خاکزی می‌شود. به هر حال خاکورزی فشرده باعث افزایش ورود اکسیژن به خاک، شکستن خاکدانه‌ها و معدنی شدن ماده آلی خاک می‌شود (سیکس و همکاران، ۲۰۰۲b؛ رایت و هونس، ۲۰۰۵) که سبب تحریک کاهش سریع کربن آلی خاک مخصوصاً بخش‌های ناپایدار آن می‌گردد. در سیستم‌های بی‌خاکورزی نیز بقایا روی سطح باقی مانده و بسیاری از واکنش‌ها در چند سانتی‌متری بالای خاک انجام شده و به دلیل نبود عملیات خاکورزی ماده آلی خاک حفظ می‌شود (سیکس و همکاران، ۲۰۰۲b). بنابراین استفاده از سیستم‌های بی‌خاکورزی باعث ترسیب کربن می‌گردد (وست و پُست، ۲۰۰۲). در این سیستم‌ها منبع غنی کربن در عمق‌های سطحی وجود دارد (پوجت و لال، ۲۰۰۵؛ رایت و هونس، ۲۰۰۵) و کربن در عمق‌های عمیق‌تر محدود به تجزیه ریشه می‌باشد (بیکر و همکاران، ۲۰۰۷).

در تحقیق دیگری ژنگ‌چاو و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که بیشترین محتوی کربن آلی و نیتروژن در عمق ۰-۴۰ سانتی‌متری خاک وجود داشت که ناشی از فرآیند پوسیدگی ریشه می‌باشد. بسیاری از ریشه‌های گیاهان در عمق سطحی خاک قرار دارند و منبعی از کربن می‌باشند (وَنگ و همکاران، ۲۰۰۹) و نیتروژن خاک مخصوصاً نیتروژن معدنی از طریق ریشه‌ها از عمق‌های پایین‌تر به عمق سطحی انتقال داده می‌شود و همه کربن و نیتروژن موجود در آن، زمانی که ریشه‌ها از بین می‌روند، رها شده و در عمق سطحی خاک قرار می‌گیرد. بنابراین محتوی کربن و نیتروژن در عمق سطحی خاک افزایش می‌یابد (ژنگ‌چاو و همکاران، ۲۰۱۳).

هالورسون و همکاران (۱۹۹۹) دریافتند که کود نیتروژن به مقدار ۶۷ و ۱۳۴ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش ۱۴۰ و ۱۸۲ کیلوگرم در هکتار در سال کربن در عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری خاک در سیستم

بی‌خاکورزی شد. جاگاداما و همکاران (۲۰۰۷) نیز بیان کردند که در شرایط استفاده از کود نیتروژن به مقدار ۰ و ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار، ذخایر کربن آلی در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک به‌ترتیب ۶۸/۴ و ۷۵/۸ مگاگرم در هکتار به‌دست آمد.

لیبیگ و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش کردند کوددهی با ۱۸۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، کربن آلی را به‌ترتیب ۱/۴ و ۱ مگاگرم در هکتار در مقایسه با عدم کوددهی و ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن افزایش داد. همچنین استودرت و چوریا (۲۰۰۰) مشاهده کردند در شرایط خاکورزی مرسوم و عدم کوددهی نیتروژن، کربن آلی خاک ۸/۸-۴/۱ گرم بر کیلوگرم کاهش یافت، در حالی‌که در شرایط استفاده از کود نیتروژن میزان کاهش کربن آلی خاک ۷/۲-۲/۸ گرم بر کیلوگرم بود.

یک راه ساده برای حفظ سطوح بالای کربن آلی خاک و ترسیب کربن از اتمسفر، افزایش برگرداندن کربن آلی به خاک از طریق بقایای آلی می‌باشد (لال، ۲۰۰۴b؛ اسمیت، ۲۰۰۴). در اراضی زراعی مقدار نهاده کربن به‌وسیله عملکرد تخمین زده می‌شود. نقش بقایای گیاهی به‌عنوان منبعی برای افزایش ماده آلی و رهاسازی عناصر غذایی، کاهش میزان تلفات آب، کاهش دما و pH، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی برای گیاه، افزایش میزان رطوبت، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و به‌عنوان منبع انرژی برای فعالیت موجودات خاک مهم می‌باشد. در پژوهشی ژنگ و همکاران (۲۰۱۳) بیان نمودند که میزان ذخیره کربن آلی خاک با افزایش برگرداندن بقایا در طی سال‌های متمادی افزایش یافت و در سیستم‌های بی‌خاکورزی و خاکورزی مرسوم به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان ترسیب کربن آلی خاک به‌دست آمد. مقدار ترسیب کربن در بی‌خاکورزی به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر خاکورزی‌ها بالاتر بود. بنابراین سیستم بی‌خاکورزی به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای افزایش ترسیب کربن آلی خاک در چین پیشنهاد شد. در مورد استفاده از کودهای شیمیایی، گو و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که بین عملکرد دانه و نهاده کربن روابط خطی مثبتی وجود داشت و استفاده از ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در طی ۲۵ سال

باعث تجمع کربن به میزان ۲/۵ مگاگرم کربن در هکتار شد. دومینگز و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند با افزایش میزان برگرداندن بقایای گیاهی در طی سه سال در تیمارهای کوددهی و عدم کوددهی نیتروژن، منجر به افزایش کربن آلی خاک شد.

در پژوهش دیگری اثر مدیریت بقایای گیاهی توأم با مدیریت خاکورزی و کود اوره بر ترسیب کربن خاک در مزرعه ذرت بررسی شد. 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 آزمایش افزایش نشان داد. در شرایط عدم حضور بقایا هم در خاکورزی رایج و در خاکورزی حداقل، میزان بیلان کربن در تیمارهای مختلف کودی منفی بود. این امر نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد که در شرایط عدم حفظ بقایا در خاک نه تنها کربنی در خاک ترسیب نمی‌شود، بلکه مقداری از کربن خاک نیز به صورت تنفس میکروبی از خاک خارج شده که در نهایت باعث ایجاد بیلان منفی در کربن خاک می‌شود. 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. افزایش میزان کاربرد کود اوره نیز 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 منفی‌تر شدن آن در هر دو روش خاکورزی شد. افزایش کاربرد کود باعث افزایش زیست‌توده گیاهی و در نتیجه برگشت بقایای بیشتر به خاک گردید که این موضوع سبب بالا رفتن بیلان کربن در سطوح بالای مصرف کود شد، هر چند که پتانسیل گرمایش جهانی با افزایش سطوح مصرف کود اوره تشدید شد (مرادی، ۱۳۹۲).

در آزمایشات طولانی مدت مزرعه‌ای لوگاتو و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند در شرایط استفاده از کود نیتروژن و عدم برگرداندن بقایای گیاهی، تفاوتی در غلظت کربن آلی خاک مشاهده نشد، ولی در

شرایط برگرداندن بقایای گیاهی به خاک میزان کربن آلی خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. از لحاظ کاهش تغییرات اقلیمی، افزایش در کربن آلی خاک ناشی از کاربرد نیتروژن و در نتیجه افزایش عملکرد و برگرداندن بقایای گیاهی به خاک، زمینه انتقال کربن از اتمسفر به خاک فراهم می‌شود. گو و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده کردند که در طی سالیان متمادی استفاده از کود نیتروژن، کربن آلی خاک به‌طور معنی‌داری در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک افزایش یافت. آن‌ها بیان کردند که استفاده از کود نیتروژن نه تنها باعث افزایش عملکرد می‌شود بلکه منجر به افزایش تولید بقایای ریشه هم شده که به‌طور معنی‌داری باعث افزایش غلظت کربن آلی خاک و ذخایر آن شد.

سینجو و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند استفاده طولانی مدت از کود مرغی یا کاشت پی در پی می‌تواند موجب ترسیب کربن و نیتروژن در مقایسه با کوددهی نیتروژن یا آیش شود، بنابراین موجب افزایش کیفیت خاک، تولید محصول، کاهش آبشویی نیتروژن و انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهد شد. در تحقیق دیگری کود دامی و کود دامی + شیمیایی در مقایسه با شاهد، ترسیب کربن را به‌طور معنی‌داری در سیستم گلخانه‌ای سبزیجات (به‌ترتیب ۸/۹ و ۹/۲ مگاگرم در هکتار) افزایش دادند (لو و همکاران، ۲۰۱۱).

نتایج پژوهش کاکال و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان داد که استفاده از کود دامی و استفاده متعادل از کود شیمیایی NPK منجر به افزایش ترسیب کربن در سیستم‌های کاشت برنج - گندم و ذرت - گندم گردید و سیستم کاشت برنج - گندم به‌دلیل افزایش تولید از ظرفیت بیشتری برای افزایش ترسیب کربن برخوردار بودند. در هر دو سیستم کاشت، غلظت کربن آلی خاک در کود دامی بیشتر از کود شیمیایی بود و استفاده متعادل از کود شیمیایی منجر به بهبود غلظت کربن آلی خاک، ذخایر کربن آلی کل و مقدار ترسیب کربن آلی گردید.

در مقایسه با کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای آلی راهکاری مؤثر برای افزایش ترسیب کربن آلی خاک و بهبود کیفیت خاک می‌باشند (لال، ۲۰۰۹). افزایش حاصلخیزی خاک در اثر استفاده از بیوپار نیز به دلیل توانایی آن در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش کلونیزاسیون میکوریزا و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی و محتوی عناصر غذایی موجود در بیوپار بوده و پتانسیل بالای بیوپار برای ترسیب مربوط به مقاومت بالای آن در برابر تجزیه میکروبی می‌باشد (لهمن و همکاران، ۲۰۰۸؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۲). در پژوهشی لیو و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک در تیمارهای ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوپار ذخیره کربن آلی خاک به ترتیب ۳/۶ و ۶/۲ تن در هکتار افزایش یافت.

۲-۵- خاکورزی

سیستم‌های خاکورزی مرسوم مانند خاکورزی با گاوآهن برگرداندار به شدت لایه سطحی خاک را تخریب می‌کنند (سیکس و همکاران، ۱۹۹۹). در کوتاه مدت این نوع سیستم‌های خاکورزی محیط مناسبی را برای سبز شدن گیاه، رشد اولیه سریع، استقرار، جذب عناصر غذایی و عملکرد بالای محصول فراهم می‌کنند. همچنین خاکورزی می‌تواند باعث تغییراتی در ویژگی‌ها و توزیع کربن آلی خاک همراه با تغییراتی در خصوصیات انتشار گازهای گلخانه‌ای و ترسیب کربن آلی خاک شود (یوسیری و لال، ۲۰۰۹). به هر حال، اجرای سیستم‌های خاکورزی مرسوم در طولانی مدت باعث تخریب ساختمان خاک، افزایش معدنی شدن ماده آلی خاک، فشردگی و فرسایش خاک می‌شوند. همه این فرآیندها باعث تخریب خاک و مانع پایداری اراضی زراعی می‌گردد. از این‌رو در طی دو دهه اخیر استفاده از سیستم‌های خاکورزی حفاظتی مانند بی‌خاکورزی و کم‌خاکورزی به عنوان راهکاری جایگزین توصیه شده است (تریپلت و دیسک، ۲۰۰۸؛ راکستروم و همکاران، ۲۰۰۹). خاکورزی حفاظتی به هرگونه سیستم خاکورزی و کشتی اطلاق می‌گردد که در آن حداقل ۳۰ درصد سطح زمین پس از کشت گیاه، پوشیده از بقایای گیاهی باقی بماند

(کوچکی و برومند رضازاده، ۱۳۸۸). این نوع خاکورزی به دلیل فواید آن شامل کاهش فرسایش خاک، صرفه جویی در زمان، نیروی کار، آب، سوخت و بهبود کیفیت خاک یکی از تکنولوژی‌های مهم و مناسب در کشاورزی پایدار می‌باشد.

چن و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که در دو منطقه مورد مطالعه تحت سیستم‌های بی‌خاکورزی نسبت به خاکورزی مرسوم، عملکرد سویا از ۸/۹ تا ۱۲/۸ درصد افزایش و عملکرد ذرت از ۱۵/۷ تا ۲۸/۴ درصد کاهش یافت. وجود بقایای گیاهی بر سطح خاک با کاهش تبخیر و افزایش نفوذ آب به خاک باعث افزایش رطوبت و کاهش دمای خاک گردید. آنکن و همکاران (۲۰۰۴) نیز در بررسی انواع سیستم‌های مختلف خاکورزی دریافتند که در بعضی از سال‌های آزمایش عملکرد ذرت در سیستم بی‌خاکورزی نسبت به سایر سیستم‌های خاکورزی مورد بررسی به طور معنی‌داری پایین‌تر بود، در حالی که در برخی از سال‌ها تفاوت معنی‌داری بین سیستم‌های خاکورزی بر عملکرد ذرت وجود نداشت.

قاسمی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی اثر منابع مختلف کود بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mays L.*) تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف خاکورزی شامل دو سیستم متداول و بی‌خاکورزی بیان کردند که خاکورزی متداول به دلیل فراهم کردن بستری مناسب برای فعالیت باکتری‌های تجزیه‌کننده خاک و تسريع معدنی شدن از تأثیرات بهتری نسبت به بی‌خاکورزی برخوردار است و در نتیجه دسترسی بیشتر به آب، عناصر غذایی و رشد بهتر ریشه، عملکرد گیاه ذرت افزایش یافت و در بی‌خاکورزی به دلیل تراکم بالای خاک رشد ریشه محدود شده و به دلیل تجزیه کند، جذب آب و مواد غذایی نیز کم شد. آن‌ها بیان کردند اگرچه تغذیه شیمیایی باعث تأمین سریع مواد غذایی برای گیاه شده ولی در درازمدت سبب بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی و تخریب ساختمان خاک می‌شود. در نهایت کاربرد کود سبز با مخلوط تلفیقی کود دامی و شیمیایی به همراه خاکورزی متداول را برای تقویت رشد اولیه و عملکرد دانه ذرت توصیه کردند.

همچنین تیان و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که تحت سیستم‌های بی‌خاکورزی و کم‌خاکورزی (روتیواتور و دیسک) عملکرد گیاهان ذرت و گندم کاهش پیدا کرد. علاوه بر این سیستم بی‌خاکورزی برعکس خاکورزی با روتیواتور دارای اثری مثبت بر ترسیب کربن بود. بعد از سالیان متمادی (ده سال) استفاده از سیستم‌های بی‌خاکورزی و کم‌خاکورزی، تبدیل این نوع سیستم‌های خاکورزی به خاکورزی عمیق (استفاده از زیرشکن) باعث بهبود عملکرد گیاهان شد. بنابراین آن‌ها پیشنهاد کردند که استفاده از خاکورزی عمیق برای کاهش عملکرد به وجود آمده در سیستم‌های بی‌خاکورزی و کم‌خاکورزی مناسب می‌باشد.

در پژوهش دیگری افضل‌گروه و همکاران (۱۳۹۱) بیان کردند که خاکورزی مرسوم و کم‌خاکورزی به‌ترتیب با میانگین $9638/750$ و $9835/250$ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه ذرت را به‌خود اختصاص دادند و از نظر آماری در یک گروه و بی‌خاکورزی با کمترین عملکرد ($7257/5$ کیلوگرم در هکتار) در گروه دیگر قرار گرفت. آن‌ها بیان کردند که کم‌خاکورزی به‌دلیل ایجاد بستر مناسب بذر، بهبود سرعت سبز شدن و استقرار گیاه در خاک و نقش مثبت بقایای گندم در کاهش تبخیر از سطح خاک باعث افزایش عملکرد شده و پایین بودن عملکرد دانه در بی‌خاکورزی نسبت به کم‌خاکورزی و خاکورزی مرسوم را به میزان سبز شدن بذر ارتباط دادند و با توجه به قرارگیری دو روش خاکورزی مرسوم و کم‌خاکورزی در یک گروه آماری، استفاده از کم‌خاکورزی به جای خاکورزی مرسوم پیشنهاد شد. در تحقیق دیگری با افزایش شدت خاکورزی و استفاده از گاواهن برگرداندار مقدار تخلخل خاک و در نتیجه رشد و توسعه ریشه گیاه گندم و سطح تماس ریشه با خاک افزایش یافته و محتوی رطوبت قابل دسترس کاهش یافت که موجب افزایش جذب آب توسط گیاه و عملکرد ماده خشک گندم گردید (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳).

کربن آلی خاک یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک می‌باشد که افزایش میزان آن در خاک باعث افزایش فراهمی عناصر غذایی برای گیاهان و بهبود خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک می‌شود. مقادیر

بالای کربن در خاک نشان‌دهنده افزایش محصول و کاهش نوسانات آن می‌باشد (پن و همکاران، ۲۰۰۹). افزایش ترسیب یا ذخیره کربن در خاک از پتانسیل قابل‌توجهی برای کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر برخوردار می‌باشد (یانگ، ۲۰۰۳؛ لال، ۲۰۰۴a). بنابراین افزایش کربن آلی خاک نه تنها باعث بهبود کیفیت خاک و افزایش محصول می‌شود بلکه باعث کاهش گرمایش جهانی نیز می‌شود (لال، ۲۰۰۴a).

از دیدگاه زیست‌محیطی افزایش میزان ماده آلی خاک در اثر اعمال روش‌های خاکورزی حداقل و حفاظتی قابل تأمل است، زیرا با اجرای این روش‌ها در سطح وسیع می‌توان بخشی از کربن موجود در اتمسفر که به صورت دی‌اکسید کربن وجود دارد را به صورت ماده آلی در خاک‌ها حفظ نمود، موضوعی که از آن به عنوان ترسیب کربن یاد می‌شود (روستا، ۱۳۸۸). هالورسون و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که در سیستم بی‌خاکورزی ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۷/۶-۰ و ۱۵/۲-۷/۶ سانتی‌متری خاک به ترتیب ۱۳ و ۱۱ درصد نسبت به سیستم خاکورزی مرسوم بیشتر بود. آن‌ها علت کاهش کربن آلی خاک در سیستم خاکورزی مرسوم را افزایش تماس بین بقایا و خاک و فراهم شدن شرایط برای اکسیداسیون و تجزیه کربن آلی خاک بیان کردند. معمولاً در سیستم‌های بی‌خاکورزی بقایا روی سطح خاک باقی مانده در حالی که در سیستم خاکورزی مرسوم بقایا با خاک مخلوط شده و شرایط برای اکسیداسیون آن‌ها فراهم می‌شود.

بسیاری از عوامل به عنوان مثال برگرداندن بقایا، استفاده از کودها، نوع سیستم‌های کاشت و عملیات خاکورزی بر میزان ترسیب کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارند. نتایج آزمایشی هفت ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۴) نشان داد که مقدار ذخیره کربن آلی خاک ۲۵-۳۰ درصد افزایش یافت و در سال پایانی آزمایش، ذخیره کربن آلی خاک در خاکورزی مرسوم، دوار و بی‌خاکورزی به ترتیب ۱۰۱۶۵/۷۷، ۱۰۰۰۳/۷۶ و ۱۱۱۷۸/۲۸ کیلوگرم در هکتار نسبت به زمان شروع آزمایش بیشتر بود و با افزایش برگرداندن بقایا در طی سال‌های

متمادی میزان ترسیب کربن آلی خاک افزایش و بیشترین و کمترین میزان به ترتیب در سیستم بی خاکورزی (۵۲۷/۷۳ کیلوگرم در هکتار در سال) و خاکورزی مرسوم (۲۳۴/۶۹ کیلوگرم در هکتار در سال) به دست آمد. بنابراین سیستم‌های بی خاکورزی به عنوان گزینه‌ای مناسب برای افزایش ترسیب آلی خاک پیشنهاد شد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳).

در بررسی اثرات طولانی مدت خاکورزی بر اجزای ماده آلی خاک، کیت و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که غلظت کربن آلی خاک در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری در بی خاکورزی ۱/۱ برابر نسبت به کم خاکورزی و خاکورزی مرسوم بالاتر بود و در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک استفاده از سیستم‌های بی خاکورزی و کم خاکورزی (دیسک و چیزل) به ترتیب باعث افزایش ۲/۶، ۲/۲ و ۱ درصدی غلظت کربن آلی خاک شدند، در حالی که در خاکورزی مرسوم کربن آلی خاک ۷/۱ درصد کاهش یافت. بنابراین استفاده متوالی از بی خاکورزی و کم خاکورزی برخلاف خاکورزی مرسوم باعث افزایش کربن آلی خاک می‌شود. همچنین سیستم‌های خاکورزی در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری اثری بر pH خاک نداشت، ولی در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری، pH خاک به ترتیب در سیستم‌های خاکورزی مرسوم، کم خاکورزی و بی خاکورزی کاهش یافت. در سیستم‌های بی خاکورزی تجمع کربن در داخل خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد، در حالی که با افزایش شدت خاکورزی به عنوان مثال خاکورزی مرسوم خاکدانه‌های خاک تخریب و آن‌ها در معرض حمله میکروب‌ها قرار می‌گیرند (میخا و رایس، ۲۰۰۴). همچنین کاهش کربن آلی خاک در خاکورزی مرسوم می‌تواند به دلیل دمای بالاتر خاک و معدنی شدن سریع کربن باشد.

در تحقیقات حامدی و پرویزی (۱۳۹۵) تأثیر بلند مدت روش‌های مختلف مدیریت خاکورزی (بی خاکورزی، چیزل و گاواهن برگرداندار) و تناوب زراعی بر ذخایر کربن آلی خاک در خاکی با بافت لوم رسی سیلتی بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین ذخیره کربن آلی خاک به میزان ۴۹/۹ تن در هکتار مربوط به کاربرد بی خاکورزی و در تناوب گندم-کلزا و کمترین آن به میزان ۴۶/۸ تن در

هکتار مربوط به کاربرد گاوآهن برگرداندار با تناوب گندم-کلزا بود. همچنین نتایج برخی تحقیقات دیگر نشان داده است که استفاده مداوم از بی‌خاکورزی و افزایش کوددهی (۰، ۶۷، ۱۱۷، ۱۶۸ و ۲۳۲ کیلوگرم در هکتار) در عمق ۷/۵-۰ سانتی‌متری خاک ذخیره کربن آلی خاک را به‌ترتیب ۱۰ و ۱۳ درصد افزایش دادند و عملکرد دانه در مقایسه با خاکورزی نواری ده درصد کاهش و عملکرد علوفه ذرت (برگ + ساقه + چوب بلال) بین دو سیستم خاکورزی تفاوتی نداشت (استوارت و همکاران، ۲۰۱۷).

بر اساس تحقیقات روستا (۱۳۸۸)، اعمال روش‌های خاکورزی حداقل و حفاظتی ماده آلی خاک را از ۰/۷۲ درصد در تیمار خاکورزی مرسوم به‌ترتیب به ۱/۳۶ و ۱/۱۴ درصد افزایش داد. در مطالعه دیگری نشان داده شد که تحت سیستم‌های بی‌خاکورزی، خاکورزی پشته‌ای و خاکورزی با گاوآهن برگرداندار و با افزایش مقدار مالچ به میزان ۰ تا ۱۶ مگاگرم در هکتار غلظت کربن کل به‌ترتیب از ۱/۲۶ به ۱/۵۰، ۱/۲۰ به ۱/۴۷ و ۰/۹۵ به ۱/۱۰ درصد افزایش یافتند (کاهلون و همکاران، ۲۰۱۳).

در تحقیق دیگری ووگلر و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که طی پنج سال (۲۰۰۳-۱۹۹۸) استفاده از مدیریت خاکورزی حفاظتی، pH و وزن مخصوص ظاهری خاک در عمق بالایی خاک نسبت به خاکورزی مرسوم افزایش و در سال بعد وزن مخصوص ظاهری در خاکورزی حفاظتی کاهش یافت و به اندازه خاکورزی مرسوم بود. ولی در سال‌های بعد وزن مخصوص ظاهری در سیستم خاکورزی حفاظتی در عمق‌های سطحی خاک کمتر و در عمق‌های پایین‌تر خاک افزایش یافت. همچنین ماده آلی خاک بین سیستم‌های خاکورزی حفاظتی و مرسوم تفاوت معنی‌داری نداشت، اگرچه در همه تیمارهای کوددهی از سال ۱۹۹۸ سیستم خاکورزی حفاظتی ماده آلی بیشتری نسبت به خاکورزی مرسوم داشت. در این پژوهش سیستم‌های خاکورزی مرسوم و حفاظتی اثر معنی‌داری بر عملکرد گیاه ذرت و گندم نداشتند، در حالی که استفاده توأم از کودهای شیمیایی و کود دامی به‌طور معنی‌داری عملکرد گیاه گندم و ذرت را در مقایسه با استفاده از کود شیمیایی به تنهایی افزایش دادند. بنابراین نتایج این پژوهش نشان داد که

کاهش شدت خاکورزی بر ویژگی‌های خاک مؤثر بوده، ولی اثرات بسیار اندکی بر عملکرد و جذب عناصر غذایی گیاهان داشتند.

برخی از مطالعات نشان داده‌اند که وزن مخصوص ظاهری در عمق ۵-۰ سانتی‌متری در خاکورزی حفاظتی (۱/۲۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب) نسبت به خاکورزی مرسوم (۱/۱۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب) بالاتر بود (وینگارد و همکاران، ۲۰۱۲)، ولی در عمق ۲۰-۵ سانتی‌متری به دلیل سطحی بودن بهم خوردگی خاک این روند مشاهده نشد. همچنین عدم معنی‌داری اثر سیستم‌های خاکورزی و کوددهی نیتروژن بر وزن مخصوص ظاهری خاک توسط دومینگز و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش شده است.

در کشور آرژانتین در پژوهشی وینگارد و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که در کرت‌هایی که کوددهی شده بود، فسفر خاک در سیستم‌های بی‌خاکورزی و خاکورزی مرسوم به ترتیب ۴/۵ و ۲/۷ برابر بیشتر بود. در بی‌خاکورزی به دلیل عدم بهم خوردگی خاک و تماس کمتر کود فسفر با کلوئیدهای خاک، تثبیت فسفر در خاک کاهش یافته و قابلیت دسترسی آن افزایش می‌یابد (حسین و همکاران، ۱۹۹۹). همچنین در پژوهش دیگری گزارش شده است که با کاهش شدت خاکورزی از طریق استفاده از سیستم‌های کم‌خاکورزی یا بی‌خاکورزی، فسفر کل در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک نسبت به خاکورزی مرسوم ۱۵ درصد افزایش یافت (سلس و همکاران، ۱۹۹۷).

بلور و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی (مرسوم، کم‌خاکورزی و بی‌خاکورزی) مشاهده کردند که کمترین میزان نیتروژن خاک (۰/۰۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در سیستم بی‌خاکورزی و بیشترین میزان آن (۰/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در خاکورزی مرسوم به دست آمد. همچنین بیشترین و کمترین میزان فسفر نیز به ترتیب در سیستم کم‌خاکورزی در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک (۱۱/۸۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و خاکورزی مرسوم در عمق ۲۰-۴۰

سانتی متری خاک (۵/۲ میلی گرم در کیلوگرم خاک) مشاهده شد. همچنین ووگلر و همکاران (۲۰۰۹) افزایش غلظت نیتروژن کل در عمق ۱۵-۰ سانتی متری خاک را در خاکورزی حفاظتی گزارش کرده‌اند.

۲-۶- کودهای شیمیایی و کودهای آلی

استفاده از کود نیتروژن کربن آلی خاک‌ها را از طریق تثبیت بیشتر کربن در زیست توده گیاهی افزایش می‌دهد (لیبیگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ جاگاداما و همکاران، ۲۰۰۷). برای مثال در یک آزمایش ۴۰ ساله در ایتالیا مشخص شد در شرایط برداشت بقایا، تفاوت معنی‌داری در محتوی کربن آلی خاک در اثر کوددهی نیتروژن مشاهده نشد (لوگاتو و همکاران، ۲۰۰۶). در سیستم‌های مختلف واکنش کربن آلی خاک به نیتروژن متفاوت است، با اینکه عملکرد ذرت با کود نیتروژن افزایش می‌یابد، نشان داده شده است که کربن آلی خاک در تک‌کشتی ذرت افزایش یافته (استودرت و چوریا، ۲۰۰۰؛ راسل و همکاران، ۲۰۰۵) اما در تناوب با سویا کاهش یافت (استودرت و چوریا، ۲۰۰۰).

دومینگز و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی اثر سیستم‌های خاکورزی مرسوم و بی‌خاکورزی بر عملکرد ذرت نشان دادند که بین سیستم‌های خاکورزی تغییر معنی‌داری وجود نداشت (۸/۸ تن در هکتار و ۷/۷ تن در هکتار به‌ترتیب برای خاکورزی مرسوم و بی‌خاکورزی)، اما کوددهی نیتروژن به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه ذرت را از ۷/۱ تا ۹/۴ تن در هکتار افزایش داد. در سیستم بی‌خاکورزی معدنی شدن کمتر منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود، این بدان معناست که واکنش گیاه به کوددهی در سیستم بی‌خاکورزی نسبت به خاکورزی مرسوم بالاتر بود و بیشترین عملکرد با مقادیر کمتر نیتروژن زمانی به‌دست می‌آید که معدنی شدن نیتروژن با خاکورزی افزایش داده شود.

در پژوهشی بیشترین مقدار علوفه تر، خشک و جذب کل نیتروژن به‌ترتیب به مقدار ۳۶۳۲۰، ۱۰۵۲۰ و ۱۴۲/۹ کیلوگرم در هکتار از تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی متر تبخیر و مصرف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. اما با توجه به راندمان جذب کل نیتروژن، مقدار نیترات باقیمانده خاک و عملکرد

بهینه، مقدار ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره و آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر برای ذرت علوفه‌ای توسط خودشناس و همکاران (۱۳۹۴) توصیه شد. همچنین با افزایش مقدار نیتروژن، نیترات باقیمانده در هر دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک افزایش یافت.

در بررسی تأثیر تناوب زراعی و مدیریت مصرف نیتروژن و پسماند گیاهی بر عملکرد ذرت و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک، میرزاشاهی و همکاران (۱۳۹۵) بیان کردند عملکرد دانه و بیولوژیک ذرت، پروتئین دانه، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک با افزایش نیتروژن افزایش یافت و در تیمار حفظ بقایای گیاهی همراه با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بالاترین عملکرد دانه (۷۷۲۴ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۱۴۲۷۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. در این رابطه افزایش نیتروژن با ایجاد مخزنی قوی باعث افزایش تعداد دانه در بلال و عملکرد می‌شود و در طول دوره تاسل‌دهی سرعت رشد گیاه تحت تأثیر استفاده از نیتروژن می‌باشد که با تعداد دانه در بلال و عملکرد دانه ذرت ارتباط زیادی دارد.

گیاهان پوششی و کوددهی نیتروژن می‌توانند غلظت کربن آلی و نیتروژن خاک را از طریق افزایش میزان برگرداندن بقایا در نظام‌های خاکورزی و بی‌خاکورزی افزایش دهند (سینجو و همکاران، ۲۰۰۲). بیست و سه سال استفاده از کود نیتروژن در مقادیر مختلف (۰، ۷۰، ۱۴۰، ۲۱۰ و ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار) و دو سیستم کاشت (ذرت - ذرت و ذرت - سویا) به‌طور معنی‌داری در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک وزن مخصوص ظاهری، ذخیره کربن آلی (از ۶۸/۴ مگاگرم در هکتار تا ۷۵/۸ مگاگرم در هکتار) و ذخیره نیتروژن کل (از ۵/۳۶ مگاگرم در هکتار تا ۶/۱۴ مگاگرم در هکتار) را در شمال غرب ایلینویز تغییر دادند. کود نیتروژن مورد استفاده برای افزایش عملکرد منجر به افزایش تولید بقایای گیاهی و افزایش کربن و نیتروژن کل و ذخایر آن‌ها شدند. همچنین به‌دلیل مقاومت بالای بقایای ذرت به تجزیه میکروبی مقادیر بالاتری از ذخایر کربن در سیستم کاشت ذرت - ذرت (۷۵/۷ مگاگرم در هکتار) در مقایسه با

کاشت ذرت - سویا (۷۱ مگاگرم در هکتار) به‌دست آمد (جاگاداما و همکاران، ۲۰۰۷). گو و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی اثر کود نیتروژن بر کربن آلی خاک در مدت ۲۵ سال (از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۹) گزارش کردند که استفاده طولانی مدت از کود نیتروژن به‌طور معنی‌داری غلظت و ذخایر کربن آلی را در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک افزایش داد و به ازای هر کیلوگرم کود نیتروژن، کربن آلی در عمق بالایی خاک، ۰/۵۱ کیلوگرم افزایش یافت.

مواد آلی به‌دلیل اثر سازنده‌ای که بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و حاصلخیزی خاک دارند به‌عنوان یکی از ارکان باروری خاک شناخته شده‌اند (زمانی باب‌گه‌ری و همکاران، ۱۳۸۹). با استفاده منظم از کود دامی نیز می‌توان کربن آلی خاک و عملکرد دانه را افزایش داد. اثرات مثبت کود دامی بر عملکرد ذرت به‌دلیل بهبود تدریجی کربن آلی و خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشد (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۹). سینجو و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که افزایش کربن آلی خاک به‌دلیل استفاده از کود مرغی در مقایسه با کود نیتروژن در سیستم‌های خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی نشان می‌دهد که افزایش کربن ناشی از کود مرغی می‌تواند در افزایش سطح کربن آلی خاک نقش داشته باشد و قسمتی از کربن کود مرغی به کربن آلی خاک تبدیل شده باشد. همچنین کاشت و کوددهی، غلظت نیتروژن کل خاک را در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری و محتوی آن را در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در مقایسه با آیش و عدم کوددهی در بی‌خاک‌ورزی افزایش دادند.

زمانی باب‌گه‌ری و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی کود گاوی بر ویژگی‌های خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای در یک مطالعه مزرعه‌ای گزارش کردند که استفاده از ۴۵ تن در هکتار کود گاوی باعث افزایش ماده آلی خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری گردید و با افزودن ۱۵ و ۴۵ تن در هکتار کود گاوی عملکرد بیولوژیک ذرت در مقایسه با شاهد به‌ترتیب بیش از ۵/۸ و ۱۰ تن در هکتار افزایش یافت. در پژوهش دیگری، اضافه کردن ۳۵ تن در هکتار کود دامی کربن کل و کربن ناپایدار را به‌ترتیب ۲/۵ و ۵ برابر نسبت

به شاهد افزایش داد و بالاترین مقدار کود نیتروژن و برگرداندن بقایا به ترتیب باعث افزایش $1/3$ و $1/5$ برابری کربن کل و کربن ناپایدار نسبت به شاهد شدند و بین مقدار کود نیتروژن و همه اجزای کربن وابستگی خطی وجود داشت و با برگرداندن بقایا تقریباً به دو برابر افزایش یافت (بلیر و همکاران، ۲۰۰۶).

در بررسی اثرات طولانی مدت کوددهی بر عملکرد گندم، کربن آلی و نیتروژن کل خاک، ژنگ‌چاو و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند کودهای شیمیایی در ترکیب با کود گاوی به طور قابل توجهی عملکرد دانه گندم و زیست توده اندام هوایی را افزایش داد. زیست توده ی گندم همبستگی معنی داری با کربن آلی و نیتروژن کل خاک داشت. همچنین کود شیمیایی + دامی در عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک، غلظت نیتروژن کل و کربن آلی خاک را در مقایسه با شاهد افزایش دادند که مقادیر بیشتر نیتروژن خاک و کربن آلی خاک می تواند ناشی از فرآیند پوسیدگی ریشه باشد (وَنگ و همکاران، ۲۰۰۹).

افزایش عملکرد دانه ذرت در تیمار استفاده تلفیقی از کود شیمیایی و کود گاوی توسط مجیدیان و همکاران (۱۳۸۷) نیز گزارش شده است. به طوریکه با کاربرد توأم کودهای شیمیایی و گاوی علاوه بر کاهش میزان مصرف کودهای شیمیایی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، عملکرد دانه بیشتری به دست آمد. در پژوهش دیگری کیو و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند که ترسیب کربن و نیتروژن کل خاک در عمق ۲۰-۰ سانتی متری خاک در اثر استفاده طولانی مدت از کود شیمیایی به همراه کود دامی افزایش یافت. خرم دل و همکاران (۱۳۸۹) نیز در پژوهشی با اعمال سه نوع مدیریت کم نهاده، متوسط نهاده و پر نهاده گزارش کردند که با اعمال مدیریت کم نهاده با مصرف کود دامی میزان کربن تسهیم یافته به دانه، ریشه و ترشحات ریشه ای افزایش و میزان تسهیم کربن به اندام های هوایی کاهش یافت. بیشترین و کمترین میزان تسهیم کربن به ریشه به ترتیب در نظام های زراعی کم نهاده بر مبنای مصرف کود دامی و نظام پر نهاده با $6/5$ و $2/7$ گرم کربن بر مترمربع در فصل زراعی به دست آمد. بیشترین تولید اولیه خالص اکوسیستم نیز در نظام زراعی کم نهاده با مصرف کود دامی حاصل شد. آن ها بیان کردند

که مدیریت نظام زراعی بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم‌نهاد با مصرف کود دامی به‌دلیل بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و همچنین آزادسازی تدریجی عناصر غذایی همراه با رشد گیاه، باعث افزایش تسهیم کربن به بافت‌های زیرزمینی و در نتیجه افزایش زیست‌توده اندام‌های زیرزمینی ذرت شد که این امر از طریق اضافه کردن بقایای ریشه به خاک می‌تواند با حفظ کربن در خاک مانع انتشار آن به اتمسفر شود.

گو و همکاران (۲۰۱۶) در کشور چین در بررسی کمپوست کود گاوی در ترکیب با کود شیمیایی بر ماده آلی خاک در سیستم کاشت گندم - ذرت گزارش کردند که ماده آلی خاک، محتوی آب و نیتروژن کل به‌صورت مثبت و معنی‌داری با کمپوست کود گاوی مرتبط بود و عملکرد گندم و ذرت در تیمارهای کود شیمیایی، کمپوست کود گاوی و استفاده تلفیقی از کمپوست کود گاوی و کود شیمیایی به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش یافت و بالاترین عملکرد دانه در شرایط استفاده از ۲۵ درصد کمپوست کود گاوی + ۷۵ درصد کود شیمیایی به‌دست آمد. استفاده از کود شیمیایی به تنهایی منجر به کاهش ماده آلی خاک، محتوی آب و نیتروژن کل خاک شد، در حالی که استفاده از کمپوست کود گاوی این اثرات منفی را کاهش داد. در پژوهش دیگری مشاهده شد که استفاده مداوم از کودهای شیمیایی به تنهایی یا در ترکیب با کودهای آلی باعث بهبود کربن آلی خاک و اجزای ناپایدار آن تحت سیستم کاشت فشرده برنج - گندم گردید (چاودهاری و همکاران، ۲۰۱۷).

در تحقیق دیگری در سیستم تناوبی ذرت - گندم، استفاده از ۲۰ تن در هکتار کود دامی و کود شیمیایی (NPK) به‌ترتیب باعث افزایش ۱۶ و ۲۱ درصدی کربن آلی خاک در کشت گیاه ذرت شدند. در نتیجه افزایش ماده آلی در کود دامی و کود شیمیایی، خلل و فرج کل خاک افزایش و وزن مخصوص ظاهری کاهش یافت و متوسط ظرفیت نگهداری آب در کود دامی و کود شیمیایی به‌ترتیب ۲۱ و ۱۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در این پژوهش استفاده متعادل از کودهای شیمیایی باعث افزایش

خلل و فرج کل، محتوی کربن آلی و ظرفیت نگهداری آب شد و بیشترین مقدار عملکرد دانه و جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه ذرت و گندم در شرایط استفاده از کود دامی و کود شیمیایی نسبت به شاهد به دست آمد (رسول و همکاران، ۲۰۰۸).

۲-۷- بیوچار

بیوچار، زغال سوخته توسط انسان که می‌توان به عنوان مکمل در خاک استفاده کرد که از توان بالایی برای ترسیب کربن برخوردار است و برای کاربرد در سیستم‌های کشاورزی مناسب می‌باشد (لهمن، ۲۰۰۷). این ماده، ترکیب کربنی بسیار پایداری است که در اثر تجزیه حرارتی زیست‌توده در دمای بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و در غیاب اکسیژن تولید می‌شود (جفری و همکاران، ۲۰۱۱). از اثرات مثبت بیوچار می‌توان به کاهش انتشار N_2O از خاک، متوقف کردن بیماری‌های گیاهی، کاهش آبخویی عناصر غذایی، کاهش اسیدیته خاک، تحریک فعالیت میکروبی (اسمیت و همکاران، ۲۰۱۰؛ جونز و همکاران، ۲۰۱۱؛ لهمن و همکاران، ۲۰۱۱)، بهبود خصوصیات شیمیایی (pH و ظرفیت تبادل کاتیونی) و خصوصیات فیزیکی خاک (نگهداری آب و هدایت هیدرولیکی) اشاره کرد.

در تحقیقی جونز و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که اثر بیوچار در سال اول بر رشد، کارایی جوانه‌زنی، سرعت سبز شدن گیاهچه، محتوی کلروفیل برگ و محتوی عناصر غذایی ذرت معنی‌دار نبود و در سال دوم و سوم اثر آن فقط بر محتوی نیتروژن برگ و زیست‌توده گراس معنی‌دار بود. عدم معنی‌داری اثر بیوچار بر رشد ذرت به تفاوت در عمق ریشه‌دهی گیاهان نسبت داده شد. آنها بیان کردند ریشه ذرت در خاک‌هایی با زهکشی مناسب و غنی از ماده آلی تا عمق بیشتر از یک متر هم نفوذ می‌کند، در حالی که ریشه گراس کمتر از ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد، بنابراین بیوچار بر کل ریشه گراس اثر می‌گذارد. همچنین در سال دوم و سوم تغییر در کیفیت خاک مورد بررسی قرار گرفت، رویهم رفته بیوچار اثر معنی‌دار اما اندکی بر تغییرات pH خاک داشت (بیشترین تغییر افزایش ۰/۳۲ واحدی در pH) و در دیگر پارامترهای خاک

مانند هدایت الکتریکی، محتوی رطوبت، نیتروژن کل، تنفس ناشی از سوبسترا، کربن محلول، نیتروژن محلول، فسفر قابل دسترس، کلسیم قابل تبادل و وزن مخصوص ظاهری خاک اثر معنی‌داری نداشت. در حالی که در سال دوم بیوپچار باعث افزایش معنی‌دار تنفس پایه، سرعت رشد میکروب‌ها و کربن کل خاک گردید.

در دهه‌های اخیر محققین زیادی بر پتانسیل قابل‌توجه بیوپچار برای افزایش عملکرد محصول گیاه ذرت (میجر و همکاران، ۲۰۱۰؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۴) و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (ولف و همکاران، ۲۰۱۰؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۲) تأکید کرده‌اند.

لیو و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی مقادیر مختلف بیوپچار (۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) بر رشد دو گیاه ذرت و گندم و حاصلخیزی خاک در طی پنج فصل رشد گزارش کردند که بیوپچار به‌طور معنی‌داری بسیاری از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را تغییر داد و باعث افزایش کربن آلی خاک، پتاسیم قابل دسترس و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک شد. در طی مدت آزمایش، اثرات بیوپچار بر افزایش کربن آلی خاک و پتاسیم قابل دسترس حفظ شد. با وجود افزایش معنی‌دار عملکرد ذرت در سال اول و تغییر در قابلیت دسترسی عناصر غذایی در سال‌های بعد، بیوپچار نتوانست عملکرد گیاهان بعدی را بهبود دهد.

تاممورگ و همکاران (۲۰۱۴) نیز در بررسی اثر بیوپچار بر عملکرد گندم و ویژگی‌های خاک گزارش کردند که کاربرد بیوپچار در سال‌های اول و دوم به‌ترتیب باعث افزایش محتوی آب قابل دسترس گیاه و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک شد. همچنین بیوپچار باعث افزایش محتوی پتاسیم محلول و کربن آلی خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک گردید. اما اثری بر pH، محتوی رطوبت و دیگر عناصر غذایی خاک نداشت. کاربرد بیوپچار به‌ترتیب باعث کاهش و افزایش نیترات در سال اول و دوم آزمایش شد و به‌دلیل پایین بودن قابلیت دسترسی عناصر غذایی بیوپچار و بالا بودن محتوی ماده آلی خاک، اثری بر جذب نیتروژن، عملکرد دانه و کیفیت آن نداشت. در سال اول مقادیر ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار بیوپچار باعث

افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک نسبت به شاهد شدند، ولی در سال دوم اثر معنی‌داری نداشتند. عدم معنی‌داری بیوچار بر کربن آلی خاک به حرکت ذرات کوچک بیوچار به عمق‌های پایین خاک به‌وسیله فعالیت کرم خاکی، رشد ریشه و آبشویی آن نسبت داده شد.

در آزمایشات گلدانی نیز کاربرد بیوچار نه تنها رشد گیاهچه ذرت بلکه زیست‌توده کل گیاهچه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. با این وجود، با افزایش مقدار بیوچار زیست‌توده هر یک از اجزای گیاه و زیست‌توده‌ی کل به‌طور معنی‌داری تغییر نیافت. این نتیجه نشان‌دهنده آن است که اضافه کردن بیوچار اضافی ممکن است منجر به افزایش زیست‌توده نشود و مقدار مصرف آن باید در حد مطلوب باشد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳). اثرات بیوچار بر رشد گیاه ممکن است به علت عناصر غذایی موجود در بیوچار، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و در نتیجه بهبود رشد ریشه، نگهداری آب و عناصر غذایی و جذب آن‌ها باشد (آتکینسون و همکاران، ۲۰۱۰).

نیترژن عنصری کلیدی برای رشد گیاه و نهاده‌ای مهم در خاک‌های کشاورزی می‌باشد. اتلاف نیترژن از خاک‌های کشاورزی ناشی از انتشار گازهای N_2 ، N_2O ، NO ، NH_3 و آبشویی آمونیوم و نیتрат (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳) می‌باشد. دینگ و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که استفاده از ۵٪ درصد بیوچار در عمق سطحی خاک، تلفات آبشویی آمونیوم را از طریق جذب آمونیوم روی بیوچار، ۱۵/۲ درصد کاهش داد. همچنین در تحقیق دیگری گزارش شد که آبشویی نیترات در خاک‌های حاوی بیوچار به سطح شاهد یا زیر سطح آن کاهش یافت (نولس و همکاران، ۲۰۱۱).

ژنگ و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که با استفاده از بیوچار در خاک‌هایی که کود نیترژن اضافه شده بود آبشویی نیترات به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش آبشویی نیترات در نتیجه اضافه شدن بیوچار عمده‌تاً به‌دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب، جذب آمونیوم و افزایش عدم تحرک نیترژن می‌باشد. در این آزمایش رشد اندام هوایی و زیرزمینی ذرت توسط بیوچار افزایش یافت و بیوچار به‌ترتیب باعث

افزایش کارایی استفاده از نیتروژن و کاهش تجمع نیتروژن شد که این امر نشان‌دهنده توانایی بیوچار در افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن خاک در خاک‌های کشاورزی می‌باشد. بنابراین آن‌ها بیان کردند که با استفاده از بیوچار و کاهش آبشویی نیتروژن می‌توان تقاضا برای کود نیتروژن را کاهش داد. همچنین گزارش کردند که ریشه‌های ذرت به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد بزرگتر بودند. طول، حجم، سطح مقطع و نوک ریشه‌های ذرت به‌ترتیب $128/2-78/2$ ، $36/6-58/9$ ، $30/2-67/3$ و $7/8-42/9$ درصد در شرایط کاربرد بیوچار افزایش یافتند.

اضافه کردن بیوچار می‌تواند بر افزایش نگهداری نیتروژن و قابلیت دسترسی به آن در خاک‌های کشاورزی تأثیر بگذارد (اشتاینر و همکاران، ۲۰۱۰؛ تقی‌زاده توسی و همکاران، ۲۰۱۲). دو پارامتر برای ارزیابی قابلیت دسترسی نیتروژن استفاده می‌شود: کارایی تجمع نیتروژن (مقدار جذب نیتروژن در هر واحد طول، حجم، سطح و نوک ریشه‌ها) و کارایی استفاده از نیتروژن (مقدار تولید زیست‌توده به ازای هر واحد نیتروژن) (ونگ و همکاران، ۲۰۰۷). ژنگ و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده کردند که کارایی تجمع نیتروژن به‌طور معنی‌داری از $0/96$ میلی‌گرم بر متر در شاهد به $0/42 - 0/29$ میلی‌گرم بر متر در تیمارهای بیوچار کاهش یافت. در حالی که کارایی استفاده از نیتروژن روندی معکوس نشان داد. این نشان‌دهنده جذب کمتر نیتروژن توسط گیاهچه‌های ذرت و تولید زیست‌توده بیشتر آن به‌وسیله مقدارهای معادل نیتروژن در تیمارهای بیوچار در مقایسه با شاهد می‌باشد.

در پژوهشی دیگر، واکنش عملکرد ذرت و عناصر غذایی در مدت چهار سال بعد از کاربرد بیوچار (۰، ۸ و ۲۰ تن در هکتار) بررسی شده بود. عملکرد ذرت در اولین سال به‌طور معنی‌داری افزایش نیافت اما در طی سه سال بعد به‌ترتیب ۲۸، ۳۰ و ۱۴۰ درصد در شرایط استفاده از ۲۰ تن در هکتار بیوچار افزایش یافت. همچنین قابلیت دسترسی کلسیم، منیزیم و pH خاک افزایش یافت و عملکرد و جذب عناصر

غذایی بیشتر گیاه ذرت به افزایش قابلیت ۳۲۰-۷۷ درصدی کلسیم و منیزیم در خاک نسبت داده شد (میجر و همکاران، ۲۰۱۰).

قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاهان به pH خاک بستگی دارد و بیوچار ممکن است بر pH خاک (راندون و همکاران، ۲۰۰۷؛ کیمتو و همکاران، ۲۰۰۸) و آماده‌سازی عناصر غذایی برای گیاهان (دیمیر و همکاران، ۲۰۰۱؛ آتکینسون و همکاران، ۲۰۱۰) اثر بگذارد. بورچارد و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که در تیمار ۱۰۰ گرم بیوچار در کیلوگرم خاک pH خاک افزایش یافت. همچنین به‌دلیل ماندگاری کربن موجود در خاک در طول دوره آزمایش، ذخیره کربن خاک نیز افزایش یافت. آتکینسون و همکاران (۲۰۱۰) نیز پیشنهاد کردند که اگر بیوچار میزان کافی مواد هیومیکی داشته باشد، ظرفیت نگهداری آب به میزان زیادی می‌تواند افزایش یابد. افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک ممکن است سودمندی عناصر غذایی متحرک محلول خاک (به‌عنوان مثال نیتروژن، فسفر و پتاسیم) را افزایش دهد، همچنین نیاز به آبیاری و حجم بالای آبیاری کاهش یابد که آبشویی عناصری مانند نیتروژن را کاهش می‌دهد. سازوکارهای مرتبط با ظرفیت نگهداری آب در خاک مرتبط با تغییرات سطح مقطع خاک، وزن مخصوص ظاهری، خلل و فرج، توزیع اندازه منافذ و خاکدانه‌های خاک می‌باشد و این عوامل می‌توانند الگوهای نفوذ، زمان ماندگاری و مسیرهای جریان محلول خاک را تغییر دهند.

در پژوهش دیگری در بررسی اثر مکمل‌های آلی و کوددهی نیتروژن بر عملکرد جو، جذب عناصر غذایی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، آگنهو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که استفاده از مکمل‌های آلی (کمپوست و بیوچار) و کود نیتروژن، حاصلخیزی خاک و عملکرد جو را افزایش دادند. در دو منطقه مورد مطالعه بالاترین عملکرد، محتوی کلروفیل، تعداد پنجه‌ها و جذب عناصر غذایی از کاربرد کمپوست و کمپوست + بیوچار به‌دست آمد. مکمل‌های آلی باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۳۰-۴۹ و ۵۱-۷۸ درصدی در مقایسه با شاهد شدند. همچنین کود نیتروژن نیز باعث افزایش عملکرد دانه، محتوی

کلروفیل و جذب نیتروژن گردید. مکمل‌های آلی خصوصیات خاک را از طریق افزایش محتوی آب خاک، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و pH بهبود بخشیدند. عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری با زیست‌توده کل، تعداد پنجه‌ها، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک همبستگی داشت و در این پژوهش بیان شد که استفاده از مکمل‌های آلی باعث بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و عملکرد جو خواهد شد.

ژنگ و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی اثر بیوچار (۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) بر عملکرد ذرت و انتشار گازهای گلخانه‌ای گزارش کردند که استفاده از بیوچار به‌طور معنی‌داری باعث افزایش تولید ذرت و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر شد. عملکرد ذرت در شرایط عدم کوددهی نیتروژن و کاربرد بیوچار (۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) به‌ترتیب ۱۵/۸ و ۷/۳ درصد و در شرایط استفاده از کود نیتروژن به‌همراه ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار به‌ترتیب ۸/۸ و ۱۲/۱ درصد افزایش یافت. همچنین استفاده از بیوچار به‌همراه کود نیتروژن به‌ترتیب باعث کاهش ۱۰/۷ و ۴۱/۸ درصدی انتشار گاز اکسید نیتروژن شدند. به‌طور کلی در شرایط عدم کوددهی نیتروژن و استفاده از بیوچار پتانسیل گرمایش جهانی ۹/۸ و ۴۱/۵ درصد و در شرایط کوددهی نیتروژن و بیوچار به‌ترتیب ۲۳/۸ و ۴۷/۶ درصد کاهش یافت. همچنین بیوچار باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری و افزایش محتوی نیتروژن کل خاک گردید. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده توانایی بیوچار برای افزایش تولید و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در خاک‌های آهکی و اراضی خشک فقیر از کربن آلی بود.

نتایج پژوهش لنتز و ایپولیتو (۲۰۱۲) نشان داد که اضافه کردن بیوچار به خاک منجر به افزایش غلظت کربن کل و کربن آلی کل خاک گردید. در مورد قابلیت دسترسی منیزیم در خاک، بیوچار و کود دامی اثر هم‌افزایی داشتند و برخلاف خاک‌های اسیدی در خاک آهکی مورد پژوهش، بیوچار اثری بر pH، قابلیت دسترسی فسفر و کاتیون‌ها نداشت. همچنین بیوچار مورد استفاده در سال اول تأثیری بر عملکرد

یا غلظت عناصر غذایی ذرت نداشت. اما در سال دوم منجر به کاهش غلظت نیتروژن کل، گوگرد، عملکرد و همچنین با کاهش جذب نیتروژن کل، منیزیم، مس، منگنز، گوگرد منجر به کلروزه شدن کلی برگ شد. بنابراین استفاده از بیوچار در خاک‌های آهکی ممکن است منجر به کاهش قابلیت دسترسی نیتروژن شود که برای حفظ عملکرد گیاه نیاز به اضافه کردن کودهای نیتروژن به خاک باشد.

در یک آزمایش مزرعه‌ای طولانی مدت بررسی بیوچار (۳۰، ۶۰ و ۹۰ تن در هکتار) لیانگ و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که عملکرد یک ساله هر یک از گیاهان گندم زمستانه و ذرت تابستانه به‌طور معنی‌داری در نتیجه استفاده از بیوچار افزایش پیدا نکرد، در حالی که مجموع عملکرد گیاهان در مدت چهار سال افزایش یافته بود. بعد از دو سال pH خاک به میزان ۰/۳۵ واحد افزایش و بعد از سه سال وزن مخصوص ظاهری کاهش یافت و بیوچار اثری روی فسفر قابل دسترس خاک نداشت. آن‌ها پیشنهاد کردند که می‌توان از بیوچار در خاک‌های آهکی بدون کاهش عملکرد یا قابلیت دسترسی عناصر غذایی استفاده کرد.

همچنین روگوسکا و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی اثر بیوچار (۰، ۱۹، ۳۸، ۵۸، ۷۷ و ۹۶ تن در هکتار) بر رشد ذرت در طی دو سال متوالی بیان کردند بیوچار باعث افزایش pH خاک، محتوی آب قابل دسترس، کربن آلی خاک و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک گردید اما اثری بر جذب عناصر غذایی و ظرفیت تبادل کاتیونی نداشت. در اولین سال بیوچار به‌همراه کاربرد بقایا باعث افزایش ۵۵-۱۱ درصدی عملکرد دانه ذرت گردید که احتمالاً به‌دلیل کاهش اثرات مضر مواد آلوده‌ای رها شده از تجزیه بقایای ذرت باشد ولی در سال دوم بیوچار اثری بر عملکرد ذرت نداشت.

فصل سوم: مواد و روشها

۳-۱- زمان و محل انجام آزمایش

این آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود به اجرا در آمد.

۳-۲- موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی محل انجام آزمایش

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در بسطام (طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴۰۸ متری از سطح دریا) اجرا شد که دارای اقلیم سرد و خشک می باشد. مقادیر دما و بارندگی در طول دوره آزمایش در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

جدول ۳-۱- میانگین دما و مقادیر بارندگی ماهانه در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

ماه ها	۱۳۹۴-۹۵		۱۳۹۵-۹۶	
	دما	مقادیر بارندگی	دما	مقادیر بارندگی
	(درجه سانتی گراد)	(میلی متر)	(درجه سانتی گراد)	(میلی متر)
فروردین	۱۳/۴	۱۴/۵	۱۰/۸	۳۵/۳
اردیبهشت	۱۹	۱/۵	۱۸/۸	۲۸/۸
خرداد	۲۵	۰	۲۲/۶	۶/۸
تیر	۲۶/۵	۱۶	۲۴/۸	۰
مرداد	۲۶	۱	۲۳/۷	۰/۳
شهریور	۱۹/۷	۲۴/۵	۲۲	۵/۳
مهر	۱۶/۳	۶	۱۶/۱	۰
آبان	۸/۸	۱۵	۹/۵	۸/۵
آذر	۲	۱۶/۳	-۰/۱	۵/۸
دی	۱/۸	۱۵	۰/۸	۲۳/۴
بهمن	۱/۹	۲۳/۶	۰	۴۶
اسفند	۸/۸	۲۰/۳	۶/۳	۱۱/۲

۳-۳- ویژگی‌های خاک محل انجام آزمایش

قبل از انجام عملیات آماده‌سازی و اجرای نقشه آزمایش به‌منظور تعیین بافت خاک و وضعیت عناصر غذایی به‌خصوص N-P-K، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک در هشت نقطه از خاک مزرعه نمونه‌برداری شد. بدین منظور محل مورد نظر به هشت قسمت فرضی تقسیم و از هر نقطه حدود یک کیلوگرم خاک برداشته شد. سپس خاک‌ها با هم مخلوط گردیدند و نهایتاً یک نمونه یک کیلوگرمی به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲-۳ آمده است.

جدول ۲-۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

بافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	کربن پایدار (درصد)
لوم سیلتی	۸/۳۶	۰/۷۱	۰/۶	۰/۴۵۳
کربن ناپایدار (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل دسترس (میلی گرم بر کیلوگرم خاک)	پتاسیم قابل دسترس (میلی گرم بر کیلوگرم خاک)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۰/۱۴۷	۰/۰۶۶	۵/۵۴	۲۴۰	۱/۳

۳-۴- طرح آزمایشی و تیمارها

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی در دو سطح شامل خاکورزی مرسوم (گاوآهن برگرداندار + یک بار دیسک) و کم‌خاکورزی (چیزل) و فاکتور فرعی نیز شامل شاهد، کود شیمیایی (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل)، کود دامی (۲۰ تن در هکتار)، بیوچار (۲۰ تن در هکتار)، یک دوم کود شیمیایی + یک دوم کود دامی، یک دوم کود شیمیایی + بیوچار و یک دوم کود دامی + بیوچار در نظر گرفته شد. در سال دوم همه تیمارها مانند سال اول در زمین اعمال شدند ولی بیوچار به خاک اضافه نشد.

بیوچار مورد استفاده در کوره با دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط عدم حضور اکسیژن از چوب گردو تهیه شده بود و از کود گاوی پوسیده به‌عنوان کود دامی استفاده شد. از کود دامی و بیوچار برای تعیین برخی از خصوصیات آن‌ها نمونه‌برداری بعمل آمد که نتایج آن به‌ترتیب در جداول ۳-۳ و ۳-۴ ارائه شده است.

جدول ۳-۳- خصوصیات شیمیایی کود دامی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

سال زراعی	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)
۱۳۹۴-۹۵	۸/۱۰	۸/۴	۱۶/۶۲	۰/۶۵	۱/۲	۴
۱۳۹۵-۹۶	۷/۹۰	۷/۶۰	۷/۹۸	۰/۸۱	۰/۷۸	۱/۸۴

جدول ۳-۴- خصوصیات شیمیایی بیوچار

اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کربن (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)
۸/۵۲	۰/۳۳	۴۱/۱۵	۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۸۴

۳-۵- روش انجام آزمایش

در فصل بهار ابتدا مدیریت‌های خاکورزی مرسوم شامل خاکورزی با گاواهن برگرداندار همراه با یک بار دیسک و کم‌خاکورزی شامل استفاده از چیزل در زمین اجرا و بعد از اضافه کردن کود دامی، بیوچار و کود سوپرفسفات تریپل در نیمه اول خرداد ماه سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶، بذور ذرت سینگل کراس ۷۰۴ روی ردیف‌ها با فاصله ۲۰ سانتی‌متر کاشته شدند. هر کرت فرعی شامل پنج ردیف کاشت به طول شش متر و به فاصله ۷۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌ها در هر تکرار ۱۴۰ سانتی‌متر و فاصله تکرارها از یکدیگر سه متر در نظر گرفته شد. بلافاصله بعد از کاشت، آبیاری با تیپ انجام و آبیاری‌های بعدی هر سه روز در میان انجام شد. کود نیتروژن از منبع اوره بود که در سه مرحله (یک سوم در موقع کاشت، یک سوم در مرحله هشت برگی و یک سوم قبل از گلدهی) استفاده شد. علف‌های هرز نیز در دو مرحله

به صورت دستی وجین شدند. در زمان رسیدگی کامل ذرت در مهر ماه سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ از اندام‌های هوایی و زیرزمینی ذرت در هر کرت نمونه‌برداری شد. برای این منظور از خطوط میانی هر کرت و پس از حذف نیم متر از بالا و پایین خطوط، تعداد پنج بوته از هر کرت برداشت گردید. همچنین از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک هم نمونه‌برداری شد تا صفاتی مانند pH، رطوبت وزنی، تنفس پایه، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، کربن قابل اکسید با پرمنگنات پتاسیم و کربن آلی خاک مورد اندازه‌گیری قرار گیرد. بعد از نمونه‌برداری از گیاهان و خاک، بوته‌های هر کرت قطع شد و به وسیله خردکن، اندام‌های مختلف گیاه شامل ساقه و برگ به قطعات کوچک تبدیل شدند و بقایای خرد شده گیاهی بر سطح هر کرت پخش و با استفاده از روتیواتور با خاک مخلوط شدند. مجدداً در اسفند ماه سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد و صفاتی مانند تنفس پایه خاک، کربن آلی خاک، کربن قابل اکسید با پرمنگنات پتاسیم و نیتروژن کل خاک اندازه‌گیری شد.

۳-۶- صفات مورد بررسی

۳-۶-۱- صفات زراعی، عملکرد و عناصر غذایی دانه

در مرحله رسیدگی کامل پس از حذف دو ردیف کناری به همراه نیم متر از ابتدا و انتهای ردیف‌ها به عنوان حاشیه، از ردیف‌های میانی هر کرت تعداد پنج بوته به طور تصادفی انتخاب شدند و صفاتی مانند ارتفاع گیاه، طول بلال، قطر بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری قطر بلال در قسمت میانی هر بلال با کولیس انجام شد. نمونه‌های گیاهی پس از انتقال به آزمایشگاه در پاکت‌های جداگانه قرار داده شدند و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرمی وزن خشک گیاه و اجزای آن مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری نیتروژن دانه از کج‌دال و فسفر دانه به روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) از دستگاه اسپکتروفتومتر (JENWAY 6305 ساخت کشور انگلیس) استفاده شد (امامی، ۱۳۷۵). بر این اساس، برای آماده‌سازی محلول‌ها ابتدا ۲۲/۵ گرم آمونیوم هپتا مولیبدات در ۴۰۰ میلی‌لیتر آب گرم و ۱/۲۵ گرم آمونیوم وانادات در ۳۰۰ میلی‌لیتر آب جوش حل شد. پس از اضافه کردن محلول آمونیوم وانادات به آمونیوم هپتا مولیبدات و خنک شدن آن، ۲۵۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه و حجم محلول با آب مقطر به یک لیتر رسانده شد.

محلول‌های ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر فسفر (۲/۱۹۷ گرم فسفات دی هیدروژن پتاسیم در یک لیتر آب مقطر) و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر فسفر (۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول استاندارد ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده شد) نیز تهیه شد. برای رسم منحنی کالیبراسیون میزان ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌لیتر از محلول استاندارد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری منتقل و سپس میزان ۵ میلی‌لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات-وانادات اضافه و به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. این سری از محلول‌ها حاوی ۰، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر فسفر هستند.

در این روش یک گرم نمونه گیاهی که پودر شده بود، در داخل کروزه چینی ریخته شد و در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت چهار ساعت به خاکستر تبدیل شد. بعد از خنک شدن خاکسترها، پنج میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک دو مولار اضافه و روی حمام آبی با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس پنج میلی‌لیتر از عصاره‌ها و شاهد به بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری منتقل و پنج میلی‌لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات - وانادات اضافه و با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر روی طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد.

میزان فسفر در نمونه گیاهی از معادله ۱-۳ به دست آمد.

$$(A - B) \times (V/2000 \times W) \times (100/D.M) \quad \text{معادله (۱-۳)}$$

A = غلظت فسفر در نمونه گیاهی بر حسب میلی گرم در لیتر

B = غلظت فسفر در شاهد بر حسب میلی گرم در لیتر

V = حجم نهایی عصاره در مرحله هضم بر حسب میلی لیتر

W = وزن نمونه گیاهی بر حسب گرم

D.M = درصد ماده خشک گیاه

کربن گیاه نیز به روش والکلی و بلک (۱۹۳۴) اندازه گیری شد.

۳-۶-۲- تولید اولیه خالص اندام های هوایی و زیرزمینی

تولید اولیه خالص اندام های هوایی ($ANPP^1$) از مجموع کربن تسهیم یافته به دانه (C_P) و اندام های

هوایی (C_S) و تولید اولیه خالص اندام های زیرزمینی ($BNPP^2$) از مجموع کربن تسهیم یافته به ریشه

(C_R) و ترشحات ریشه ای (C_E) محاسبه شد. میزان کربن در کلیه اندام های گیاه تقریباً ۴۵ درصد عملکرد

هر یک از این اندام ها و کربن موجود در ترشحات ریشه ای نیز تقریباً برابر با ۶۵ درصد کربن موجود در

ریشه (معادلات ۲-۳ تا ۷-۳) در نظر گرفته شد (بولیندر و همکاران، ۲۰۰۷).

$$ANPP = C_P + C_S \quad \text{معادله (۲-۳)}$$

$$BNPP = C_R + C_E \quad \text{معادله (۳-۳)}$$

$$C_P = Y_P \times 0.45 \quad \text{معادله (۴-۳)}$$

$$C_S = Y_S \times 0.45 \quad \text{معادله (۵-۳)}$$

1- Above ground Net Primary Productivity

2- Below ground Net Primary Productivity

$$C_R = Y_R \times 0.45 \quad \text{معادله (۶-۳)}$$

$$C_E = C_R \times 0.65 \quad \text{معادله (۷-۳)}$$

برای به دست آوردن C_P ، C_S و C_R به ترتیب وزن خشک دانه، اندام‌های هوایی و ریشه در ضریب ۰/۴۵ ضرب شدند تا میزان کربن تسهیم یافته به این اندام‌ها محاسبه شود. همچنین برای محاسبه C_E از ضریب ۰/۶۵ استفاده شد (بولیندر و همکاران، ۲۰۰۷). در معادلات ۴-۳ تا ۶-۳، Y_P ، Y_S و Y_R به ترتیب نشان‌دهنده وزن خشک دانه، اندام‌های هوایی و ریشه می‌باشند.

۳-۶-۳- خصوصیات خاک

۳-۶-۳-۱- pH خاک

برای اندازه‌گیری pH از سوسپانسیون ۱:۲/۵ آب و خاک استفاده شد (لیو و همکاران، ۲۰۱۴). در این روش ابتدا ۲۰ گرم از هر نمونه خاک به همراه ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به ارلن‌ها اضافه شد. بعد از شیکر کردن و عبور دادن نمونه‌ها از کاغذ صافی، pH عصاره‌ها با pH متر قرائت شد.

۳-۶-۳-۲- رطوبت وزنی خاک

برای اندازه‌گیری رطوبت وزنی، نمونه‌های خاک مرطوب پس از وزن شدن، در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت (جونز و همکاران، ۲۰۱۲) نگهداری و پس از آن با ترازو توزین و از معادله ۸-۳ برای محاسبه رطوبت وزنی خاک استفاده شد (حیدرپور و همکاران، ۱۳۹۴).

$$\text{معادله (۸-۳)} \quad 100 \times [\text{وزن خاک خشک} / (\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک مرطوب})] = \text{رطوبت وزنی خاک}$$

۳-۶-۳- تنفس پایه خاک

تنفس خاک شامل اکسید شدن ماده آلی به وسیله ریزجانداران هوازی و در نتیجه خارج شدن دی اکسید کربن از خاک است (آلف، ۱۹۹۵) و بارزترین نشانه معدنی شدن بقایای گیاهی و مواد آلی به وسیله فعالیت های میکروبی می باشد. برای اندازه گیری تنفس پایه، نمونه های خاک در ظروف بسته در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. مقدار دی اکسید کربن تولیدی در مدت زمان ۲۴ ساعت توسط محلول هیدروکسید سدیم جذب شد و به وسیله تیتراسیون با محلول اسید هیدروکلریک تعیین گردید (علی اصغرزاده، ۱۳۸۵).

در این آزمایش پس از خارج کردن نمونه های خاک از یخچال، ابتدا ۲۵ گرم خاک مرطوب مزرعه توزین و در داخل ظرف بزرگتری (ظرف شماره ۱) قرار داده شد. سپس با اضافه کردن ۲۰ میلی لیتر محلول هیدروکسید سدیم ۰/۰۵ مولار در ظرف کوچکتر دیگری (ظرف شماره ۲) و قرار دادن آن در داخل ظرف شماره ۱، درب آن محکم بسته شد. ظروف به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه قرار داده شدند. پس از گذشت مدت زمان لازم، ابتدا دو میلی لیتر از محلول کلرید باریم ۰/۵ مولار به محلول هیدروکسید سدیم اضافه شد تا دی اکسید کربن جذب شده به صورت کربنات باریم رسوب نماید. سپس با اضافه کردن ۳ قطره از معرف فنل فتالئین و ایجاد رنگ صورتی، عمل تیتراسیون با محلول اسید هیدروکلریک ۰/۱ مولار انجام شد تا رنگ محلول سفید شد. سپس میزان مصرف اسید یادداشت گردید و برای نمونه شاهد نیز همه این مراحل انجام شد. نمونه ها و شاهد هر کدام سه تکرار داشته باشند.

برای محاسبه تنفس پایه خاک از معادله ۳-۹ استفاده شد (علی اصغرزاده، ۱۳۸۵).

$$\text{معادله (۳-۹)} \quad [C - S] \times \frac{2}{2} \times 100 / SW \times \% dm = \text{تنفس پایه خاک}$$

C = میانگین حجم اسید هیدروکلریک مصرفی به وسیله شاهد (میلی لیتر)

S = میانگین حجم اسید هیدروکلریک مصرفی به وسیله نمونه ها (میلی لیتر)

۲/۲ = فاکتور تبدیل (یک میلی لیتر از اسید هیدروکلریک ۰/۱ مولار معادل ۲/۲ میلی گرم دی اکسید کربن می باشد)

SW = وزن خاک (گرم)

dm % ۱۰۰ = فاکتور تبدیل برای خاک خشک

۳-۶-۳-۴- نیتروژن کل خاک

نیتروژن کل خاک با کج‌دال اندازه‌گیری شد. مواد شیمیایی مورد نیاز شامل مخلوط کاتالیزور (دویست گرم سولفات پتاسیم، بیست گرم سولفات مس و دو گرم سلنیم)، اسید سولفوریک غلیظ، سود ده نرمال، معرف (۰/۱۳ گرم متیل رد و ۰/۲ گرم بروموکروزل‌گرین در دویست میلی لیتر اتانول ۹۶ درصد)، اسید بوریک ۱ درصد و اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال می باشد.

برای اندازه‌گیری نیتروژن کل، یک گرم خاک کوبیده و از الک ۰/۵ میلی متری عبور داده شد و داخل لوله‌های مخصوص دستگاه هضم اضافه گردید. سپس مقدار ۱/۱ گرم مخلوط کاتالیزور، دو قطره آب مقطر و سه میلی لیتر اسید سولفوریک به آن اضافه شد. یک نمونه شاهد نیز تهیه گردید. در دستگاه هضم دما تدریجاً تا ۳۷۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شد تا نمونه‌ها شفاف شد. دما نباید از ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تجاوز نماید. با قرار دادن نمونه‌ها در دستگاه کج‌دال و اضافه شدن آب مقطر، سود، اسید بوریک و معرف در نهایت با محلول اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال عمل تیتراسیون انجام شد (علی‌احیائی و بهبهانی‌زاده، ۱۳۷۲).

برای محاسبه نیتروژن کل خاک (STN^۱) از معادله ۳-۱۰ استفاده شد.

$$STN = [(A-B)/S] \times M \times 1/4 \quad \text{معادله (۳-۱۰)}$$

A = میلی لیتر اسید سولفوریک مصرفی برای نمونه‌ها

1- Soil Total Nitrogen

B = میلی لیتر اسید سولفوریک مصرفی برای نمونه شاهد

S = وزن خاک خشک

M = نرمالیت اسید سولفوریک

۳-۶-۳-۵- فسفر قابل جذب خاک

میزان فسفر در عصاره خاک به روش اولسن و همکاران (۱۹۵۴) اندازه گیری شد. بر این اساس ابتدا ۴۲ گرم بیکربنات سدیم در یک لیتر آب مقطر حل و pH آن با سود یک مولار روی ۸/۵ تنظیم گردید. در صورت تجاوز pH بیش از ۸/۵ می توان از محلول بیکربنات سدیم نیم نرمال برای پایین آوردن آن استفاده نمود. قبل از استفاده pH محلول مجدداً روی ۸/۵ تنظیم گردید.

برای تهیه سری استانداردها از محلول ۵۰۰ پی پی ام فسفر (۱/۰۹۸۴ گرم پتاسیم دی هیدروژن فسفات در پانصد میلی لیتر آب مقطر) به ترتیب ۲۰، ۱۰، ۵، ۲، ۱، ۰/۲، ۰/۱۵، ۰/۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۱ میلی لیتر برداشته شد و با بیکربنات سدیم به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. برای استاندارد صفر نیز از بیکربنات سدیم استفاده شد. این محلول ها دارای ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰، ۵، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۱ و ۰/۰۵ پی پی ام فسفر می باشند.

برای آماده سازی محلول شماره یک، ابتدا محلول آمونیم مولیبدات (۱۲ گرم آمونیم مولیبدات در ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر)، پتاسیم آنتیمونی تارترات (۰/۲۹۱ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر) و ۱۰۰۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۲/۵ مولار تهیه شد و با هم مخلوط گردید و با آب مقطر به حجم ۲۰۰۰ میلی لیتر رسانده شد. برای تهیه محلول شماره دو نیز از ۱/۰۵۵۶ گرم اسید آسکوربیک و ۲۰۰ میلی لیتر محلول شماره یک استفاده گردید. باید توجه گردد که محلول شماره دو روزانه تهیه شد.

در این روش یک گرم از نمونه خاک توزین و در لوله فالکون ۵۰ میلی لیتری اضافه شد. به ازاء هر نمونه مقداری زغال فعال هم به خاک اضافه گردید. سپس ۲۰ میلی لیتر از محلول عصاره گیری بیکربنات سدیم

به آن‌ها اضافه و نمونه‌ها با سرعت ۲۰۰ دور به مدت نیم ساعت شیکر شد. بعد از شیکر، بلافاصله نمونه‌ها از کاغذ صافی شماره ۴۲ عبور داده شد. بعد از صاف شدن نمونه‌ها به ترتیب ۰/۶، ۲ و ۰/۶ میلی‌لیتر از استانداردها، آب مقطر و محلول شماره دو با استفاده از سمپلر به کووت اضافه و بعد از کامل شدن رنگ آبی با دستگاه اسپکتروفتومتر روی طول موج ۸۸۲ نانومتر قرائت شد. برای نمونه‌ها به جای استانداردها از عصاره‌ها استفاده گردید.

۳-۶-۳-۶- کربن آلی خاک

کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک (۱۹۳۴) اندازه‌گیری شد. در این روش خاک با اسید سولفوریک غلیظ و بی‌کرومات پتاسیم مجاور شد و بعد از اتمام واکنش اکسیداسیون و احیاء، زیادی بی‌کرومات پتاسیم باقیمانده با فروآمونیم سولفات تیترا گردید.

در این روش ابتدا مقدار ۵ تا ۱۰ گرم خاک کاملاً کوبیده و از الک نیم میلی‌متری عبور داده شد. به‌طوری‌که تمام خاک از الک رد شد (فقط ذرات شن درشت‌تر از نیم میلی‌متر روی الک باقی ماند). در این مرحله برای کوبیدن خاک از هاون چینی استفاده گردید. روش کار به این ترتیب است که یک گرم خاک به ارلن مایر ۵۰۰ میلی‌لیتری منتقل و به آن ۱۰ میلی‌لیتر بی‌کرومات پتاسیم اضافه و به آرامی تکان داده شد تا ذرات در محلول پراکنده شود. ۲۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ خیلی سریع به‌طور مستقیم به محلول اضافه گردید، بلافاصله به آرامی به مدت یک دقیقه تکان داده شد تا خاک با مواد مخلوط و اجازه داده شد تا به مدت نیم ساعت به حال خود بماند. سپس ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و بعد از سرد شدن، ۱۰ قطره ارتوفنانترولین اضافه و با فروآمونیم سولفات ۰/۵ نرمال تیترا گردید. نزدیک به انتهای تیتراسیون رنگ نمونه سبز کدر است که با چند قطره اضافی فروآمونیم سولفات به رنگ قرمز در آمد. یک نمونه شاهد هم تهیه شد.

با استفاده از معادله ۳-۱۱ میزان کربن آلی خاک (SOC^1) بر اساس درصد محاسبه شد.

$$SOC = [(V_1 - V_2)/S] \times M \times 0.39 \quad \text{معادله (۳-۱۱)}$$

V_1 = میلی لیتر فروآمونیم سولفات مصرفی برای نمونه شاهد

V_2 = میلی لیتر فروآمونیم سولفات مصرفی برای نمونه‌ها

S = وزن خاک خشک به گرم

M = نرمالیت فروآمونیم سولفات

ماده آلی خاک نیز از ضرب کربن آلی خاک در ضریب ۱/۷۲ محاسبه شد (گو و همکاران، ۲۰۱۶).

۳-۶-۷- کربن آلی ناپایدار

بخش غیر هوموسی کربن آلی خاک، کربن آلی ناپایدار است که شامل کربوهیدرات‌ها، آمینواسیدها، پپتیدها، لیپیدها، بقایای گیاهی و جانوری و ماده آلی حاصل از تجزیه بقایا می‌باشد (تیرول پادر و لادها، ۲۰۰۴). برای اندازه‌گیری کربن آلی ناپایدار از روش تیرول پادر و لادها (۲۰۰۴) که در حقیقت روش توسعه یافته بلیر و همکاران (۱۹۹۵) می‌باشد، استفاده شد. بر این اساس کربن قابل اکسید با پرمنگنات پتاسیم به‌عنوان شاخصی از کربن آلی ناپایدار مطرح می‌باشد.

برای اندازه‌گیری این پارامتر نمونه خاکی که از الک دو میلی‌متری عبور داده شده بود، به‌وسیله هاون چینی پودر گردید، به‌طوری‌که اندازه ذرات آن از ۵۰۰ میکرومتر کوچک‌تر شد. سپس مقداری از نمونه خاک که شامل ۱۵ میلی‌گرم کربن آلی است (باید قبلاً مقدار کربن آلی اندازه گرفته شده باشد) به لوله فالکون با گنجایش ۵۰ میلی‌لیتر منتقل شد. به هر لوله فالکون مقدار ۲۵ میلی‌لیتر از محلول پرمنگنات پتاسیم با غلظت ۰/۰۳۳ مولار اضافه گردید. یک نمونه هم به‌عنوان شاهد تهیه شد. لوله فالکون‌ها در پاکت‌هایی قرار داده شد که نور به آن‌ها وارد نشود و به‌وسیله شیکر به مدت ۲۴ ساعت مخلوط شدند.

سپس لوله فالكون‌ها بيرون آورده شد و به مدت پنج دقيقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقيقه سانترفيوژ گرديد تا فاز محلول موجود در لوله فالكون از فاز جامد جدا شد و مقدار دو ميلي‌ليتر از محلول رويي با آب مقطر به حجم ۵۰ ميلي‌ليتر رسانده شد.

برای اندازه‌گیری غلظت پرمنگنات پتاسيم باقيمانده در نمونه‌ها و شاهد از دستگاه اسپكتروفوتومتر با طول موج ۵۶۵ نانومتر استفاده گرديد. برای رسم منحنی كالیبراسیون میزان ۰/۶، ۱، ۱/۴، ۱/۸ و ۲ ميلي‌ليتر از محلول پرمنگنات پتاسيم با آب مقطر به حجم ۵۰ ميلي‌ليتر رسانده شد و با استفاده از آن‌ها منحنی كالیبراسیون رسم گرديد.

با استفاده از معادله ۳-۱۲ میزان کربن آلی ناپایدار بر حسب ميلي گرم بر گرم خاک محاسبه شد.

$$(۱۰۰۰ \times \text{وزن خاک خشك}) / (۹ \times ۲۵ \times (۵۰/۲) \times (\text{نمونه‌های خاک} - \text{نمونه شاهد})) = \text{کربن آلی ناپایدار}$$

که در معادله فوق، عدد ۵۰/۲ فاکتور رقت بر حسب ميلي‌ليتر بر ميلي‌ليتر و اعداد ۲۵ و ۹ به‌ترتیب میزان پرمنگنات پتاسيم اضافه شده به هر نمونه و مقدار کربن قابل اکسید برای هر مول پرمنگنات پتاسيم می‌باشد.

۳-۶-۳-۸- شاخص مدیریت کربن

از شاخص مدیریت کربن به‌عنوان شاخصی از تغییرات کربن آلی خاک در واکنش به تغییر مدیریت خاک استفاده می‌شود (یانگ و همکاران، ۲۰۱۲). برای محاسبه شاخص مدیریت کربن از روش بلیر و همکاران (۱۹۹۵) استفاده شد. در این روش کربن قابل اکسید با پرمنگنات پتاسيم به‌عنوان کربن آلی ناپایدار و بخشی از کربن آلی که با پرمنگنات پتاسيم اکسید نشده است به‌عنوان کربن آلی پایدار در نظر گرفته شد.

شاخص مدیریت کربن (CMI^1)، شاخص ذخیره کربن (CPI^2) و شاخص ناپایداری کربن (LI^3) از طریق معادله های ۱۳-۳، ۱۴-۳ و ۱۵-۳ محاسبه شدند.

$$CMI = CPI \times LI \times 100 \quad \text{معادله (۱۳-۳)}$$

$$CPI = \text{کربن آلی مرجع} / \text{کربن آلی تیمار} \quad \text{معادله (۱۴-۳)}$$

$$LI = L \text{ مرجع} / L \text{ تیمار} \quad \text{معادله (۱۵-۳)}$$

$$L = \text{کربن پایدار} / \text{کربن ناپایدار}$$

در این آزمایش میزان کربن آلی خاک قبل از شروع آزمایش به عنوان کربن آلی مرجع در نظر گرفته شد.

۳-۶-۹- ترسیب کربن خاک

بعد از برگرداندن بقایای گیاهی به خاک و نمونه برداری از آن، برای اندازه گیری ذخیره کربن آلی خاک

(SCS^4) بر حسب کیلوگرم در هکتار از معادله ۱۶-۳ استفاده شد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳).

$$SCS = SOC \times T \times \rho_b \times 10000 \quad \text{معادله (۱۶-۳)}$$

که SOC مقدار کربن آلی خاک، T عمق خاک، ρ_b وزن مخصوص ظاهری خاک و ۱۰۰۰۰ ضریب تبدیل می باشد و با کم کردن ذخیره کربن آلی خاک قبل از شروع آزمایش از تیمارها، میزان ترسیب کربن آلی خاک محاسبه شد (گو و همکاران، ۲۰۱۶).

1- Carbon Management Index

2- Carbon Pool Index

3- Lability Index

4- Soil Carbon Storage

۳-۷- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها از نرم افزار SAS 9.2 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند.

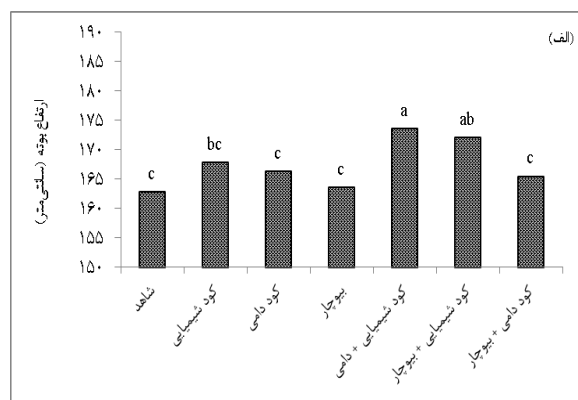
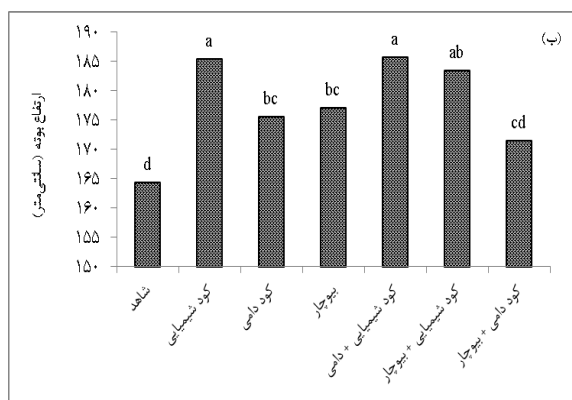
فصل چہارم: نتائج و بحث

۱-۴- ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱-۴) اثر سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود. اما در هر دو سال مدیریت تغذیه‌ای دارای تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته بود.

اثر مدیریت تغذیه‌ای بر ارتفاع بوته در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. در سال اول بیشترین ارتفاع بوته در کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار به‌دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار به‌ترتیب ارتفاع بوته را ۶/۶۰ و ۵/۶۷ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. کمترین ارتفاع بوته نیز در شاهد، کود شیمیایی، کود دامی، بیوچار و کود دامی + بیوچار به‌دست آمد (شکل ۱-۴-الف).

در سال دوم نیز بیشترین ارتفاع بوته به کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار تعلق داشت که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار به‌ترتیب باعث افزایش ۱۲/۸۲، ۱۲/۹۷ و ۱۱/۵۵ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد شدند. کمترین ارتفاع بوته نیز به شاهد و کود دامی + بیوچار تعلق داشت (شکل ۱-۴-ب).



شکل ۱-۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر ارتفاع بوته ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵. در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

کود دامی علاوه بر اینکه خود حاوی عناصر غذایی می‌باشد (جدول ۳-۳)، در صورت کاربرد همراه کود شیمیایی، عناصر غذایی را به‌طور یکنواخت در طول دوره رشد در اختیار گیاه قرار می‌دهد (اشکال ۴-۱۰ و ۴-۱۱) و مانع از کمبود عناصر غذایی در گیاه خواهد شد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۴) و این امر می‌تواند توجیه‌کننده افزایش رشد گیاه و در نتیجه بهبود ارتفاع آن در شرایط کاربرد کود شیمیایی + دامی باشد. همچنین به‌نظر می‌رسد که کود شیمیایی + بیوچار به‌دلیل برطرف کردن نیازهای غذایی گیاه (اشکال ۴-۱۰ و ۴-۱۱) و بهبود خصوصیات خاک منجر به افزایش حاصلخیزی و افزایش ارتفاع بوته ذرت گردیده است.

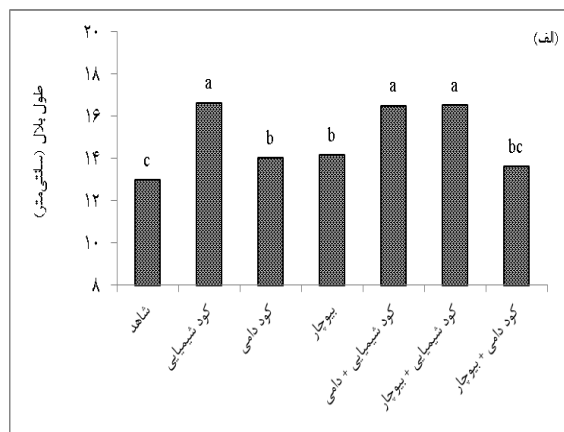
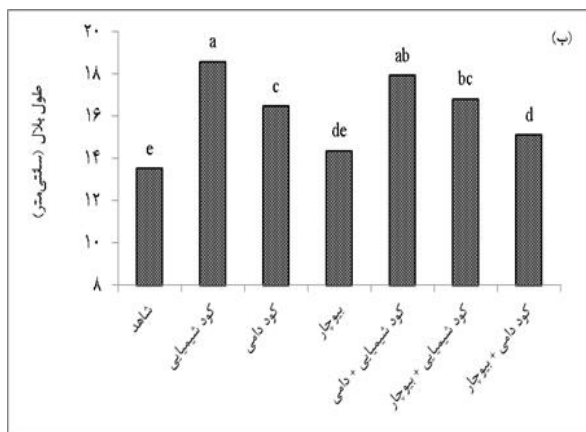
هر چه ارتفاع گیاه بیشتر باشد، توزیع نور در کانوپی گیاه بهبود می‌یابد، به‌طوری‌که برگ‌های جوان در مقایسه با برگ‌های قدیمی نور خورشید را با کارایی بیشتری جذب می‌کنند که در نتیجه فتوسنتز و عملکرد گیاه افزایش خواهد یافت (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۳). ارتفاع گیاه از طریق تأثیرگذاری بر جذب نور و تبادل گازها در کانوپی گیاه بر رشد زیست‌توده گیاه اثر می‌گذارد که ناشی از افزایش تعداد گره‌ها، فاصله میانگره‌ها یا ترکیبی از هر دو می‌باشد (باقری و همکاران، ۱۳۹۱). به‌طور کلی افزایش بیشتر ارتفاع بوته در سال دوم در مقایسه با سال اول می‌تواند به‌دلیل تجزیه بیشتر بقایای ذرت و بهتر شدن شرایط تغذیه‌ای خاک (مرادی، ۱۳۹۲) و آزادسازی بهتر عناصر غذایی از کود دامی باشد.

۴-۲- ویژگی‌های بلال

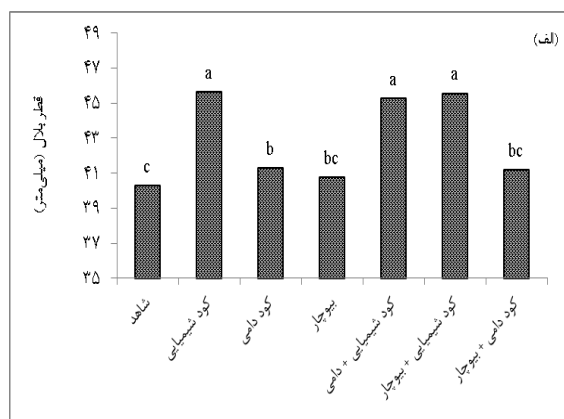
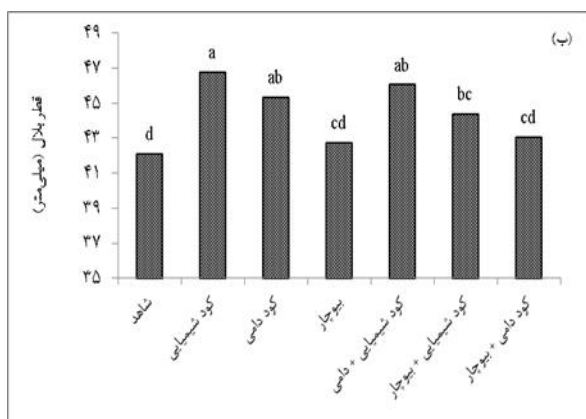
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) نشان داد که سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های بلال نداشتند. همچنین نتایج نشان‌دهنده این بود که در هر دو سال اثر مدیریت تغذیه‌ای بر ویژگی‌های بلال معنی‌دار بود.

مقایسه میانگین مدیریت تغذیه‌ای نشان داد که در سال اول بیشترین طول (شکل ۴-۲-الف) و قطر بلال (شکل ۴-۳-الف) در کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار و بیشترین تعداد ردیف در بلال (شکل ۴-۴-الف) در کود شیمیایی، کود دامی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار و تعداد دانه در ردیف بلال (شکل ۴-۵-الف) در کود شیمیایی، کود دامی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار به‌دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین طول بلال (شکل ۴-۲-الف) نیز در شاهد و کود دامی + بیوچار و کمترین قطر بلال (شکل ۴-۳-الف) در شاهد، بیوچار و کود دامی + بیوچار به‌دست آمد. در مورد تعداد ردیف در بلال (شکل ۴-۴-الف) و تعداد دانه در ردیف بلال (شکل ۴-۵-الف) کمترین میزان مربوط به شاهد، کود دامی، بیوچار و کود دامی + بیوچار بود.

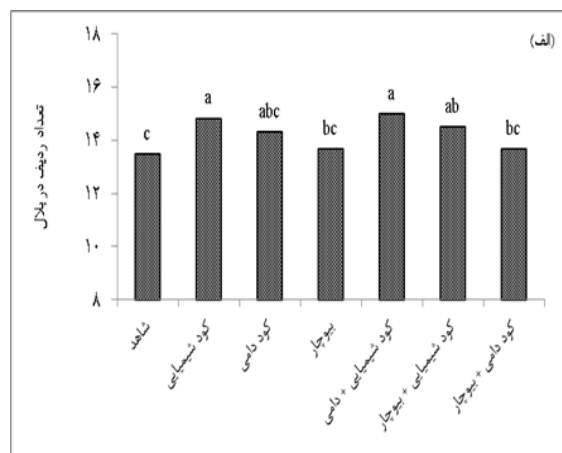
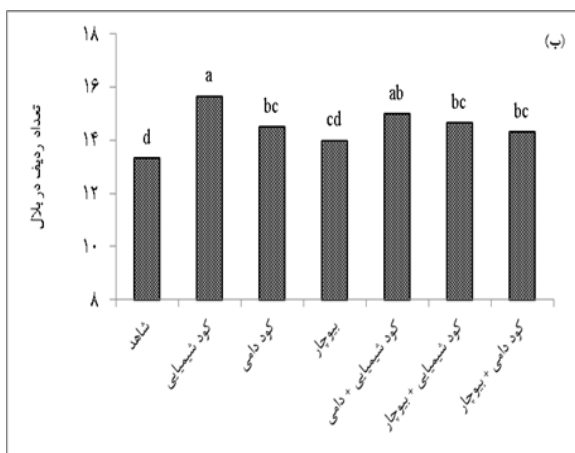
در سال دوم نیز بیشترین طول بلال (شکل ۴-۲-ب) در کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی و بیشترین قطر بلال (شکل ۴-۳-ب) در کود شیمیایی، کود دامی و کود شیمیایی + دامی به‌دست آمد. بیشترین تعداد ردیف در بلال (شکل ۴-۴-ب) مربوط به کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی و بیشترین تعداد دانه در ردیف بلال (شکل ۴-۵-ب) مربوط به کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی بود که اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری نداشتند. کمترین طول بلال (شکل ۴-۲-ب) به شاهد و بیوچار و کمترین قطر بلال (شکل ۴-۳-ب) به شاهد، بیوچار و کود دامی + بیوچار تعلق داشت. در مورد تعداد ردیف در بلال (شکل ۴-۴-ب) و تعداد دانه در ردیف بلال (شکل ۴-۵-ب) کمترین مقدار مربوط به شاهد و بیوچار بود.



شکل ۴-۲- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر طول بلال ذرت در دو سال زراعی (الف) ۱۳۹۴-۹۵ و (ب) ۱۳۹۵-۹۶. در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

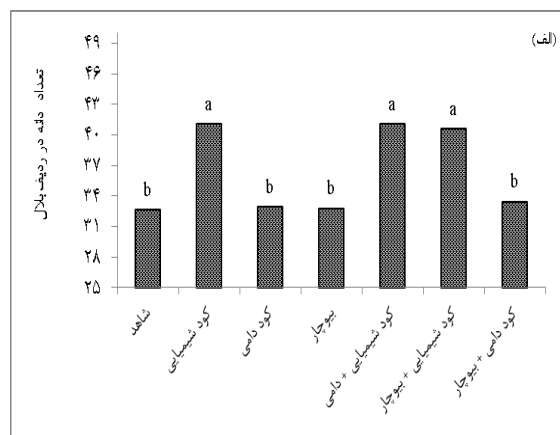
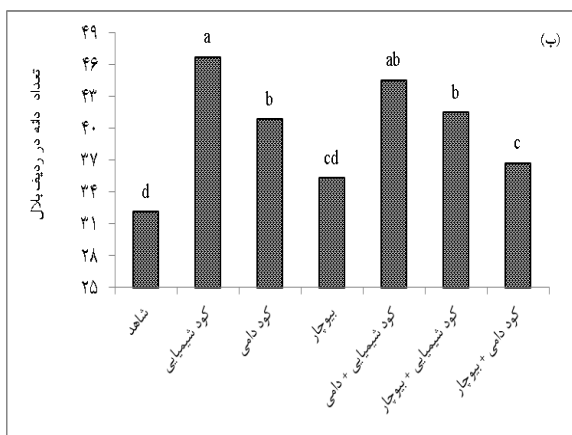


شکل ۴-۳- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر قطر بلال ذرت در دو سال زراعی (الف) ۱۳۹۴-۹۵ و (ب) ۱۳۹۵-۹۶. در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.



شکل ۴-۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تعداد ردیف در بلال ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.



شکل ۵-۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تعداد دانه در ردیف بلال ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

استفاده از کود نیتروژن با تحریک رشد رویشی، منجر به افزایش تخصیص ماده خشک به بلال و در نهایت سرعت رشد بلال خواهد شد. همچنین طول بلال به رشد بلال وابسته است که برای مواد فتوسنتزی به‌عنوان مخزن قوی مطرح می‌باشد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۴). در کود شیمیایی + دامی

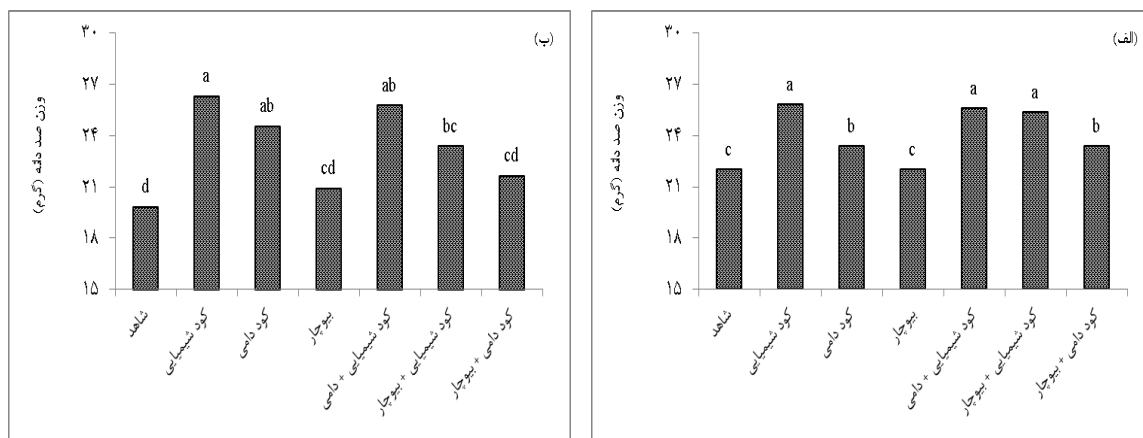
عناصر غذایی به آسانی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و باعث افزایش باروری و تبدیل گلچه به دانه خواهد شد که در نهایت تعداد ردیف و تعداد دانه در ردیف بلال افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد که کود دامی با بهبود حاصلخیزی خاک شامل کربن آلی خاک (شکل ۴-۲۲)، عناصر ماکرو (اشکال ۴-۱۹، ۴-۲۰ و ۴-۲۱)، میکرو و خصوصیات فیزیکی خاک و کود شیمیایی نیز از طریق فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (اشکال ۴-۱۰ و ۴-۱۱) (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۲) باعث بهبود ویژگی‌های بلال شدند.

در این رابطه باقری و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که افزایش مصرف کود نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار قطر بلال گردید. همچنین مجیدیان و همکاران (۱۳۸۷) بیان کردند که افزایش نیتروژن باعث افزایش وزن کل بلال، طول بلال، قطر بلال و تعداد دانه در ردیف بلال گردید. آن‌ها مشاهده کردند که بیشترین وزن کل و قطر بلال در تیمار ۹۲ کیلوگرم نیتروژن + ۵ تن در هکتار کود دامی و بیشترین مقدار تعداد دانه در ردیف و طول بلال در تیمار ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن + ۷/۵ تن در هکتار کود دامی به‌دست آمد. این محققین بیان کردند که با افزایش دسترسی به عناصر غذایی تحت تأثیر فراهمی مواد آلی شرایط بهتری برای فتوسنتز و رشد گیاه فراهم خواهد شد. بهبود ویژگی‌های بلال در سال دوم می‌تواند به علت افزایش ماده آلی خاک (شکل ۴-۲۲-ب) و بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی (اشکال ۴-۱۹-ب و ۴-۲۱-ب) و بیولوژیکی خاک (شکل ۴-۱۷) باشد.

۳-۴- وزن صد دانه

نتایج تجزیه واریانس وزن صد دانه (جدول ۳-۴) نشان داد که بین سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. اما در هر دو سال مدیریت تغذیه‌ای بر وزن صد دانه مؤثر بود.

مقایسه میانگین وزن صد دانه در سال اول (شکل ۴-۶-الف) نشان داد که بیشترین وزن صد دانه در کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار به‌دست آمد که به‌ترتیب ۱۷/۳۹، ۱۶/۴۳ و ۱۵/۲۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داشتند و کمترین وزن صد دانه در بیوچار به‌دست آمد. در سال دوم نیز بیشترین وزن صد دانه در کود شیمیایی، کود دامی و کود شیمیایی + دامی مشاهده شد که به‌ترتیب ۳۲/۸۴، ۲۳/۷۶ و ۳۰/۰۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند و کمترین وزن صد دانه مربوط به شاهد، بیوچار و کود دامی + بیوچار بود (شکل ۴-۶-ب).



شکل ۴-۶- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر وزن صد دانه ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

پژوهش‌های قبلی نیز افزایش وزن صد دانه ذرت را در شرایط مصرف کود نیتروژن گزارش کرده‌اند (میرزاشاهی و همکاران، ۱۳۹۵). وزن صد دانه از اجزای مهم عملکرد ذرت می‌باشد، بنابراین استفاده از راهکارهای زراعی مؤثر بر وزن صد دانه منجر به افزایش عملکرد دانه ذرت نیز خواهد شد.

میانگین وزن صد دانه در شکل ۴-۶-الف نشان داد که در سال اول کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار با کود شیمیایی در یک مرتبه آماری قرار گرفتند. در سال دوم نیز بین کود شیمیایی، کود دامی و کود شیمیایی + دامی از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۴-۶-ب). افزایش وزن صد دانه در کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار می‌تواند به دلیل فراهمی میزان مناسبی از عناصر غذایی (اشکال ۴-۱۰ و ۴-۱۱)، افزایش ماده آلی خاک (شکل ۴-۲۲)، بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک (شکل ۴-۱۵) و ویژگی‌های خاک (اشکال ۴-۱۹ و ۴-۲۱) باشد.

وزن صد دانه در کود دامی در سال اول و دوم به ترتیب ۶/۲۳ و ۲۳/۷۶ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (اشکال ۴-۶-الف و ۴-۶-ب). احتمالاً افزایش بیشتر وزن صد دانه در سال دوم می‌تواند به دلیل تجزیه بقایای گیاهی، ذخیره رطوبت (شکل ۴-۱۵-ب) و افزایش ماده آلی خاک (شکل ۴-۲۲-ب) باشد. همچنین کود دامی قادر می‌باشد به مرور عناصر مورد نیاز گیاه را تأمین نماید (اشکال ۴-۱۰-ب و ۴-۱۱-ب) و با ایفای نقش مثبت در پر شدن دانه‌ها، وزن دانه را افزایش دهد. در این مورد زمانی باب‌گهری و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که کود گاوی به میزان ۱۵ و ۴۵ تن در هکتار وزن هزار دانه ذرت دانه‌ای را در مقایسه با شاهد افزایش داد.

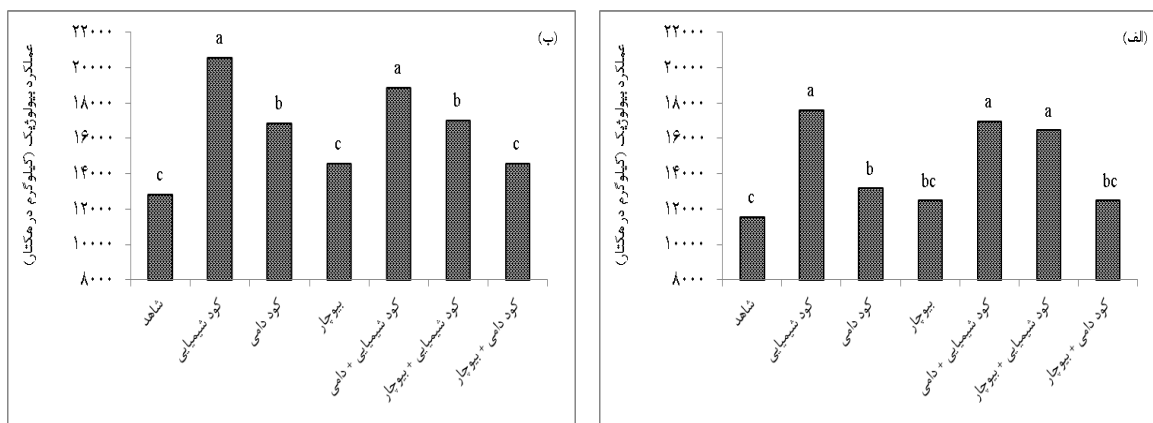
۴-۴- عملکرد بیولوژیک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۳) در هر دو سال عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای قرار نگرفت. این نتایج

با یافته‌های شیرانی و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت دارد. اما اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴-۳).

همانطور که در شکل ۴-۷ الف نشان داده شده است در سال اول بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار بود. کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار عملکرد بیولوژیک را به ترتیب ۵۲/۶۱، ۴۷/۰۴ و ۴۲/۶۹ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند.

در سال دوم نیز بیشترین عملکرد بیولوژیک در کود شیمیایی (۲۰۵۹۴ کیلوگرم در هکتار) و کود شیمیایی + دامی (۱۸۸۶۹/۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که اختلاف بین آن‌ها معنی‌دار نبود (شکل ۴-۷ ب). در هر دو سال کمترین عملکرد بیولوژیک مربوط به شاهد (۱۱۵۴۰ و ۱۲۸۳۱/۶ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای سال اول و دوم) و کود دامی + بیوچار (۱۲۴۸۸/۵ و ۱۴۵۷۷/۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای سال اول و دوم) بود که البته بین شاهد، بیوچار و کود دامی + بیوچار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (اشکال ۴-۷ الف و ۴-۷ ب).



شکل ۴-۷- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد بیولوژیک ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

اگرچه بین شاهد، بیوچار و کود دامی + بیوچار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی در سال دوم به دلیل آزادسازی تدریجی عناصر غذایی تحت تأثیر تجزیه کود دامی و بقایای گیاهی اضافه شده به خاک، شرایط بهتری برای جذب عناصر غذایی (اشکال ۴-۱۰ ب و ۴-۱۱ ب) و رشد ریشه (۴-۱۳ ب) فراهم شد.

افزایش عملکرد تحت تأثیر مصرف کود شیمیایی می‌تواند به دلیل تأثیر نیتروژن بر تحریک رشد رویشی، گسترش برگ‌ها و دوام سطح برگ باشد (خودشناس و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهشی امیرآبادی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که با افزایش سطح کود نیتروژن، عملکرد ماده خشک افزایش یافت به‌طوری‌که کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره بیشترین عملکرد ماده خشک را به‌خود اختصاص داد.

احتمالاً در کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار با افزایش سرعت رشد گیاه و جذب عناصر غذایی (اشکال ۴-۱۰ و ۴-۱۱) وزن گیاه افزایش یافت. در توجیه افزایش عملکرد در کود شیمیایی + دامی می‌توان اظهار داشت که به‌موازات رفع نیاز نیتروژن و فسفر گیاه توسط کود شیمیایی و کود دامی (اشکال ۴-۱۰ و ۴-۱۱)، اضافه نمودن کود دامی باعث فراهمی عناصر کم مصرف و کربن آلی (شکل ۴-۲۲) برای گیاه گردید (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱). در این زمینه در پژوهشی ژنگ‌چاو و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که عملکرد دانه و زیست‌توده اندام هوایی گندم با اضافه کردن کود شیمیایی + دامی ۶۹ و ۶۲ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت. همچنین افزایش ۶۴ درصدی زیست‌توده ذرت در بیوچار تا ۱۴۶ درصد در بیوچار + NPK توسط پنگ و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش شده است که نشان‌دهنده توانایی بیوچار برای افزایش حاصلخیزی خاک در کوتاه مدت می‌باشد. افزایش عملکرد جو در شرایط استفاده از مکمل‌های آلی به‌همراه کود شیمیایی نیتروژن توسط آگنهو و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش شده است.

در رابطه با تأثیر بقایای گیاهی بر عملکرد گیاه، یانگ و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که بعد از ۲۲ سال استفاده از کودهای شیمیایی و مخلوط کردن بقایای ذرت، کربن آلی خاک و عملکرد ذرت به طور قابل توجهی افزایش یافت. در پژوهش دیگری مخلوط کردن مداوم و میزان زیادی از بقایای گندم و ذرت به ترتیب باعث افزایش ۴۹/۱ و ۲۰/۹ درصدی عملکرد دانه گندم و ذرت در مقایسه با شرایط مخلوط کردن میزان کمی از بقایا شدند (لی و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین میرزاشاهی و همکاران (۱۳۹۵) نیز بیان کردند که بالاترین عملکرد دانه و بیولوژیک ذرت در شرایط حفظ بقایای گیاهی گندم و کلزا همراه با استفاده از ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن به دست آمد و تأثیر مثبت بقایا بر افزایش عملکرد به تأثیر بقایای گیاهی روی تعدیل درجه حرارت خاک، بهبود محتوی رطوبت، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، تأمین عناصر غذایی گیاه و کنترل علفهای هرز نسبت داده شد.

کاربرد کود دامی عملکرد بیولوژیک را در سال اول و دوم به ترتیب ۱۴/۱۸ و ۳۱/۳۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (اشکال ۴-۷-الف و ۴-۷-ب). افزایش ماده آلی خاک (شکل ۴-۲۲) و عدم تجزیه کامل کود دامی در سال اول و باقی ماندن آن برای سال بعد و اضافه شدن کود دامی در سال دوم می تواند در افزایش عملکرد گیاه مؤثر باشد. زمانی باب گهری و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند اضافه کردن ۱۵ و ۴۵ تن در هکتار کود گاوی عملکرد بیولوژیک را به ترتیب بیش از ۵/۸ و ۱۰ تن در هکتار در مقایسه با شاهد افزایش داد. آن ها دلایل افزایش عملکرد ذرت را افزایش معنی دار ماده آلی خاک، نیتروژن کل، هدایت هیدرولیکی اشباع، کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و افزایش شاخص سطح برگ و فتوسنتز گیاه ذکر کردند.

در سال دوم عملکرد بیولوژیک در کود دامی + بیوچار در مقایسه با کود دامی کاهش یافت (شکل ۴-۷-ب) که می تواند به دلیل نقش بیوچار، کود دامی و بقایا در شکل گیری ترکیبات کربنی محلول، عدم تحرک نیتروژن و عدم دسترسی آن برای گیاه باشد (شکل ۴-۱۰-ب). در پژوهشی لنتز و ایپولیتو

(۲۰۱۲) در بررسی کود دامی، بیوپار و کود دامی + بیوپار بر عملکرد ذرت گزارش کردند که در سال اول هیچ یک از تیمارها اثر معنی داری نسبت به شاهد نداشتند. در سال دوم نیز کاربرد بیوپار منجر به کاهش معنی دار عملکرد ذرت نسبت به شاهد شد و همچنان کود دامی + بیوپار اثر معنی داری بر عملکرد نداشتند. آن‌ها بیان کردند که بیوپار در خاک آهکی مورد استفاده قادر به تغییر pH، قابلیت دسترسی فسفر و کاتیون‌ها نبود و در سال دوم استفاده از بیوپار منجر به کاهش قابلیت دسترسی نیتروژن شد که ممکن است برای حفظ عملکرد نیاز به استفاده از نیتروژن در خاک باشد.

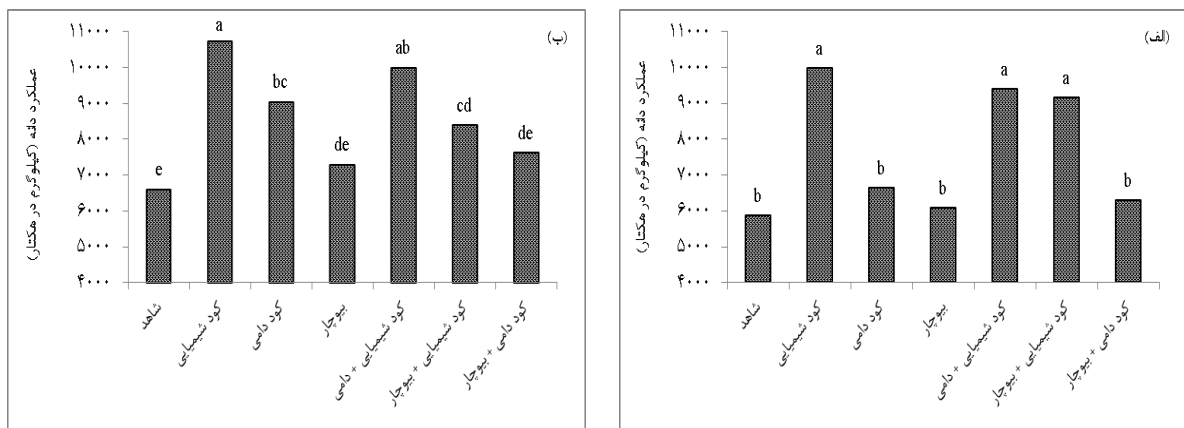
۴-۵- عملکرد دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۳) اثر سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد دانه معنی دار نبود. نتایج پژوهش لال (۲۰۰۶) نشان‌دهنده این بود که عملکرد گندم و ذرت با افزایش محتوی کربن آلی خاک افزایش یافت. در حالی که بر اساس نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر سیستم‌های خاکورزی اثر معنی داری بر ماده آلی خاک نداشتند (جدول ۴-۱۴). بنابراین میزان تغییرات کربن آلی خاک در کم‌خاکورزی نسبت به خاکورزی مرسوم اندک بود (جدول ۴-۱۵) و این تغییرات اندک در کربن آلی خاک اثر معنی داری بر عملکرد ذرت نداشت.

همچنین سیستم‌های خاکورزی عمدتاً از طریق تأثیر بر محتوی آب و نیترات خاک بر عملکرد گیاهان اثر می‌گذارند (آلوارز و استینیچ، ۲۰۰۹). در پژوهش حاضر مطابق نتایج تجزیه واریانس، سیستم‌های خاکورزی اثر معنی داری بر رطوبت وزنی خاک (جدول ۴-۹) و نیتروژن کل خاک (۴-۱۲) نداشتند. از طرفی سیستم‌های خاکورزی مختص هر منطقه است و میزان اثرگذاری آن‌ها به خاک، اقلیم و دیگر عملیات مدیریتی بستگی دارد (شیرانی و همکاران، ۲۰۰۲). بنابراین احتمال تأثیرگذاری سیستم‌های خاکورزی بر عملکرد در بلند مدت وجود دارد. در سایر پژوهش‌ها هم عدم معنی داری سیستم‌های خاکورزی بر عملکرد ذرت گزارش شده است (افضلی‌گروه و همکاران، ۱۳۹۱؛ مالتاس و همکاران، ۲۰۱۳).

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۳) مدیریت تغذیه‌ای اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت. همان‌گونه در شکل ۴-۸-الف مشاهده می‌شود در سال اول بیشترین عملکرد دانه در کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوجار به‌دست آمد. کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوجار عملکرد دانه را به‌ترتیب ۷۰/۱۵، ۶۰/۴۱ و ۵۶/۳۲ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به شاهد، کود دامی، بیوجار و کود دامی + بیوجار بود (شکل ۴-۸-الف).

در سال دوم نیز کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی به‌ترتیب باعث افزایش ۶۲/۷۳ و ۵۱/۴۳ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند که اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری نداشتند. کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به شاهد، بیوجار و کود دامی + بیوجار بود (شکل ۴-۸-ب).



شکل ۴-۸- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد دانه ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

گیاهان زراعی به‌ویژه ذرت به نیتروژن به‌عنوان پرمصرف‌ترین عنصر نیازمند هستند و با بهبود قابلیت دسترسی آن، عملکرد گیاه به‌شدت تحت تأثیر قرار خواهد گرفت (میرزاشاهی و همکاران، ۱۳۹۵). در نتیجه افزایش مقدار کود نیتروژن فعالیت فتوسنتزی، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ افزایش

می‌یابد و باعث افزایش عملکرد می‌شود. در این راستا میرزاشاهی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که کاربرد کود نیتروژن از طریق تحریک رشد رویشی به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه ذرت را افزایش داد.

افزایش عملکرد دانه در شرایط استفاده از کود شیمیایی + دامی می‌تواند به‌دلیل فراهمی میزان مناسبی از عناصر غذایی (اشکال ۴-۱۰ و ۴-۱۱) و بهبود ویژگی‌های خاک (اشکال ۴-۱۹، ۴-۲۱ و ۴-۲۲) باشد. در اوایل فصل رشد در تیمار کود شیمیایی + دامی کاهش موقتی نیتروژن توسط کود شیمیایی جبران خواهد شد. همچنین باعث شروع تجزیه کود دامی توسط میکروب‌ها و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۴) و در نهایت افزایش عملکرد گیاه خواهد شد. نتایج پژوهش‌های مجیدیان و همکاران (۱۳۸۷) و ووگلر و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان‌دهنده افزایش عملکرد ذرت در شرایط کاربرد کود شیمیایی + دامی می‌باشد. همچنین گزارش شده است که استفاده از ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار به‌همراه کود نیتروژن عملکرد ذرت را ۸/۸ و ۱۲/۱ درصد افزایش دادند و افزایش عملکرد ذرت در این شرایط به افزایش قابلیت استفاده از عناصر، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک مانند کاهش وزن مخصوص ظاهری و بهبود کارایی استفاده از نیتروژن نسبت داده شد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۲). در پژوهش دیگری آگنیهو و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند که عملکرد دانه جو در شرایط استفاده از مکمل‌های آلی (کمپوست و بیوچار) به‌همراه کود شیمیایی در مقایسه با شاهد افزایش یافت.

همان‌گونه که در شکل ۴-۸-الف مشاهده می‌شود در سال اول مصرف کود دامی، بیوچار و کود دامی + بیوچار باعث افزایش عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شدند، ولی مقدار افزایش عملکرد قابل توجه نبود. در سال اول کود دامی نتوانست عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دهد اما در سال دوم مصرف کود دامی باعث افزایش ۳۶/۹۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (شکل ۴-۸-ب). احتمالاً کود دامی باعث فراهمی تدریجی و بهتر عناصر غذایی (اشکال ۴-۱۰ و ۴-۱۱) و بهبود رشد سیستم ریشه‌ای گیاه (شکل ۴-۱۳) شده و در نتیجه گیاه در انتهای رشد خود (پُر شدن دانه‌ها) با شرایط رشدی

مطلوبی مواجه می‌باشد (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۳) که در نهایت وزن دانه‌ها افزایش خواهد یافت. در سال اول به دلیل اینکه عناصر غذایی موجود در کود دامی بلافاصله به صورت قابل دسترس برای گیاه نمی‌باشد و باید به وسیله تجزیه میکروبی به صورت قابل دسترس در آید، بنابراین در سال دوم به دلیل وجود فرصت کافی برای تجزیه ماده آلی، خاک حاوی منبعی غنی از عناصر غذایی می‌باشد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۴).

همچنین افزایش عملکرد دانه در سال دوم تحت تأثیر بیوچار از لحاظ آماری نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. در سال اول و دوم افزایش عملکرد دانه در بیوچار نسبت به شاهد به ترتیب ۳/۴۶ و ۱۰/۴۹ درصد بود (اشکال ۴-۸-الف و ۴-۸-ب). در مطالعه حاضر بیوچار باعث تغییر معنی‌دار ویژگی‌های بلال (اشکال ۴-۲، ۴-۳، ۴-۴ و ۴-۵)، وزن صد دانه (شکل ۴-۶)، جذب نیتروژن و فسفر دانه (اشکال ۴-۱۰ و ۴-۱۱) و فسفر قابل جذب خاک (شکل ۴-۲۱) نسبت به شاهد نشد که می‌تواند از دلایل عدم تأثیر بیوچار بر عملکرد باشد.

لیو و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که بعد از اضافه کردن ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار به خاک در اولین سال، مصرف بیوچار باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ذرت نسبت به عدم مصرف بیوچار شد. ولی در طی فصل‌های بعدی رشد به دلیل عدم تأثیر بیوچار بر pH و فسفر قابل دسترس خاک، عملکرد گیاهان گندم و ذرت تحت تأثیر بیوچار قرار نگرفت. همچنین عدم معنی‌داری کود دامی و بیوچار بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ذرت توسط فوستر و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش شده است. در پژوهش دیگری لیانگ و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که در یک خاک با pH اولیه ۸/۰۲ میانگین عملکرد ذرت تابستانه و گندم زمستانه در طی چهار فصل رشد در اثر استفاده از ۳۰، ۶۰ و ۹۰ تن در هکتار بیوچار و مخلوط کردن بقایای گندم و ذرت به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار نگرفت، اگر چه عملکرد گندم و ذرت در تیمار بیوچار ۱۰-۷ درصد افزایش یافت. گزارشات زیادی در مورد تأثیر بیوچار بر عملکرد گیاهان وجود

دارد، اما به دلیل تفاوت در خصوصیات خاک، نوع گیاه، شرایط اقلیمی منطقه، ویژگی‌های شیمیایی بیوپچار، مدیریت بیوپچار از قبیل زمان و مقدار مصرف و همچنین اعمال مدیریت‌های مختلف در طی دوره رشد گیاه مقایسه نتایج مشکل است. به دلیل اینکه بیوپچار در یک دوره زمانی نیز دچار تغییر می‌شود، نتایج به‌دست آمده در سال اول نمی‌تواند ارائه دهنده نتایج در سال‌های بعدی باشد.

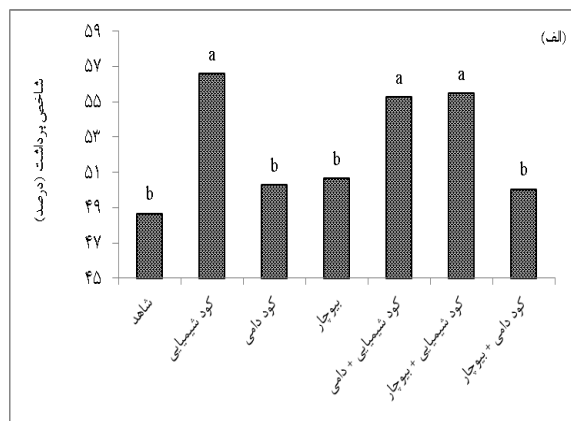
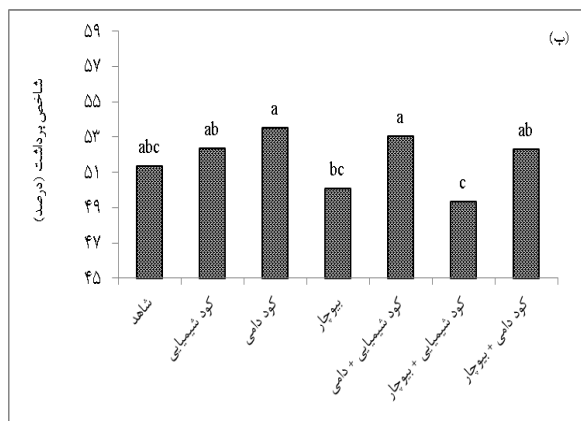
با این وجود، در تعدادی از پژوهش‌ها (میجر و همکاران، ۲۰۱۰؛ واکاری و همکاران، ۲۰۱۱؛ جونز و همکاران، ۲۰۱۲) به اثرات طولانی مدت کاربرد بیوپچار بر عملکرد گیاه تأکید کرده‌اند. در یک آزمایش چهار ساله در یک خاک اکسی‌سول استفاده از ۰، ۸ و ۲۰ تن در هکتار بیوپچار در اولین سال اثر معنی‌داری بر عملکرد ذرت نداشت، ولی در طی سال‌های بعدی استفاده از ۲۰ تن در هکتار بیوپچار باعث افزایش ۲۸، ۳۰ و ۱۴۰ درصدی عملکرد ذرت شد (میجر و همکاران، ۲۰۱۰). در پژوهش دیگری بیوپچار اثر مثبتی در طی دو سال متوالی بر گندم دوروم داشت (واکاری و همکاران، ۲۰۱۱). این دو پژوهش از لحاظ اینکه عملکرد ذرت در سال اول به‌طور معنی‌داری افزایش نیافت، اندکی شبیه مطالعه حاضر می‌باشد. در حالی‌که در این دو پژوهش در سال‌های بعد، عملکرد گیاهان در اثر استفاده از بیوپچار افزایش یافت. تفاوت اصلی ممکن است مرتبط به تفاوت در نوع خاک‌های مورد استفاده باشد. در خاک‌های اسیدی به میزان زیادی کاتیون‌های قابل تبادل کلسیم و منیزیم توسط بیوپچار فراهم می‌شود که خنثی شدن pH، فاکتور مهمی برای افزایش عملکرد ذرت در خاک‌های اکسی‌سول می‌باشد (میجر و همکاران، ۲۰۱۰). به هر حال از آنجا که در خاک‌های آهکی هیچ کدام از کلسیم، منیزیم و پتاسیم فاکتورهای محدودکننده رشد نمی‌باشند، بنابراین بیوپچار نمی‌تواند با فراهم کردن این عناصر باعث افزایش عملکرد شود. لیانگ و همکاران (۲۰۱۴) نیتروژن اندک و مخلوط کردن بقایای گندم و ذرت را دلیل اصلی عدم بهبود عملکرد گیاهان ذکر کردند. وقتی بیوپچار و بقایای گیاهی تازه با خاک مخلوط می‌شوند، اثر هم‌افزایی بیوپچار و بقایای گیاهی با نسبت کربن به نیتروژن بالا منجر به شکل‌گیری ترکیبات کربنی محلول

می‌شود (زاوالونی و همکاران، ۲۰۱۱؛ آواد و همکاران، ۲۰۱۲) که ممکن است مقادیر بالاتر این ترکیبات باعث عدم تحرک نیتروژن به وسیله ریزجانداران خاک شود که در نتیجه موجب ناکافی بودن نیتروژن برای گیاه می‌شود.

۴-۶- شاخص برداشت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۳) در سال اول و دوم سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر شاخص برداشت گیاه تأثیر معنی‌داری نداشتند. عدم تأثیر سیستم‌های خاکورزی بر شاخص برداشت گیاه می‌تواند به دلیل عدم معنی‌داری اثر سیستم‌های خاکورزی بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه یا اینکه هر دو عملکرد را به یک میزان تحت تأثیر قرار داده است، باشد.

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۳) بین سطوح مدیریت تغذیه‌ای از نظر شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. در سال اول کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار به‌طور معنی‌داری بر شاخص برداشت گیاه تأثیر گذاشتند و بیشترین مقدار شاخص برداشت در این تیمارها به‌دست آمد. کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار به‌ترتیب باعث افزایش ۱۳/۵۸ و ۱۴/۰۳ درصدی شاخص برداشت نسبت به شاهد شدند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی نداشتند. کمترین شاخص برداشت نیز مربوط به شاهد، کود دامی، بیوچار و کود دامی + بیوچار بود (شکل ۴-۹-الف).



شکل ۴-۹- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر شاخص برداشت ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

به دلیل اینکه عملکرد در محاسبه شاخص برداشت لحاظ می‌شود، بنابراین شاخص برداشت وابستگی زیادی به عملکرد رویشی و عملکرد دانه دارد و هر عاملی که باعث افزایش خصوصیات رشدی و در نتیجه عملکرد شود، باعث تغییر در شاخص برداشت نیز خواهد شد. به نظر می‌رسد که گیاه تحت تاثیر تغذیه مناسب کودی توانسته است با افزایش سطح اندام‌های فتوسنتزکننده خود و با استفاده بهینه از شرایط محیط، تولید مواد فتوسنتزی خود را بالا برده که در نهایت باعث افزایش عملکرد ماده خشک گیاه شد (امیرآبادی و همکاران، ۱۳۹۱). افزایش شاخص برداشت در اثر استفاده از کود شیمیایی توسط باقری و همکاران (۱۳۹۱) نیز گزارش شده است.

در سال دوم بیشترین شاخص برداشت در شاهد، کود شیمیایی، کود دامی، کود شیمیایی + دامی و کود دامی + بیوپچار به دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین شاخص برداشت نیز مربوط به شاهد، بیوپچار و کود شیمیایی + بیوپچار بود (شکل ۴-۹-ب).

خرم‌دل و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی خود مشاهده کردند که بیشترین و کمترین شاخص برداشت به ترتیب در نظام‌های زراعی کم‌نهاد بر پایه مصرف کود دامی (۶۷/۶ درصد) و پرنهاد (۱۷/۴ درصد)

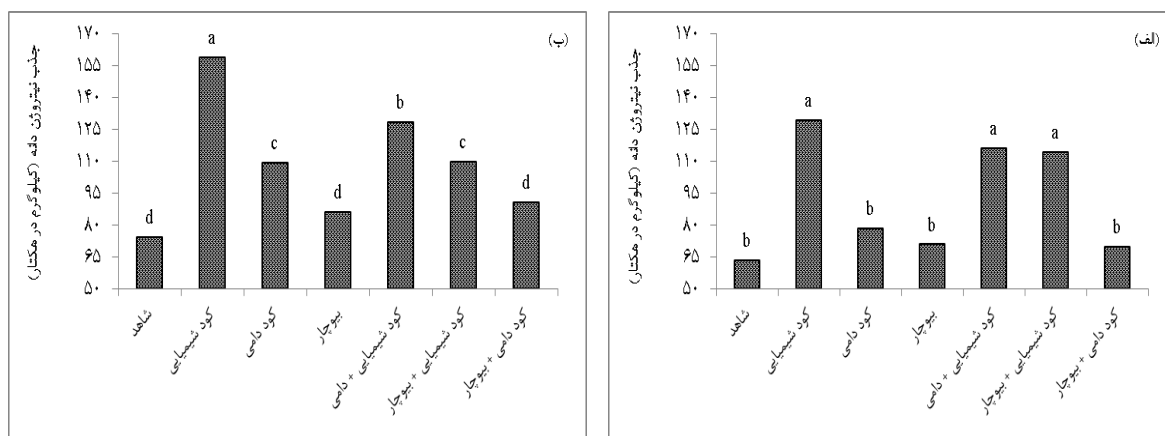
به دست آمد. آن‌ها بیان کردند که احتمالاً برقراری تعادل بیشتر در رشد اندام‌های مختلف در نظام کم‌نهاد بر پایه مصرف کود دامی باعث افزایش شاخص برداشت شد و تولید بالاترین زیست‌توده اندام هوایی در نظام پرنهاد باعث کاهش شاخص برداشت شده است.

۴-۷- جذب نیتروژن و فسفر دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر جذب نیتروژن و فسفر دانه معنی‌دار نبود (جدول ۴-۵). نتایج مشابه توسط ووگلر و همکاران (۲۰۰۹) هم گزارش شده است که سیستم‌های خاکورزی (مرسوم و حفاظتی) اثر معنی‌داری بر جذب نیتروژن و فسفر گیاه ذرت نداشتند.

در هر دو سال مدیریت تغذیه‌ای تأثیر معنی‌داری بر جذب نیتروژن دانه داشت (جدول ۴-۵). در سال اول بیشترین جذب نیتروژن دانه مربوط به کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار بود. کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار جذب نیتروژن دانه را به ترتیب ۸۳/۹۵ و ۸۱/۳۸ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی نداشتند. کمترین جذب نیتروژن دانه نیز مربوط به شاهد، کود دامی، بیوچار و کود دامی + بیوچار بود (شکل ۴-۱۰ الف).

در سال دوم نیز بیشترین جذب نیتروژن دانه با ۱۵۸/۷۴ کیلوگرم در هکتار مربوط به کود شیمیایی بود و کمترین میزان آن نیز به شاهد، بیوچار و کود دامی + بیوچار تعلق داشت (شکل ۴-۱۰ ب).



شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر جذب نیتروژن دانه ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

به‌نظر می‌رسد در کود شیمیایی، نیتروژن بیشتری در مقایسه با سایر سطوح تغذیه‌ای در اختیار گیاه قرار گرفته است و به‌همین علت جذب نیتروژن دانه در کود شیمیایی نسبت به سایر تیمارها بالاتر می‌باشد. در واقع با افزایش قابلیت دسترسی به نیتروژن و عملکرد دانه (شکل ۴-۸)، میزان جذب این عنصر در دانه افزایش یافته است.

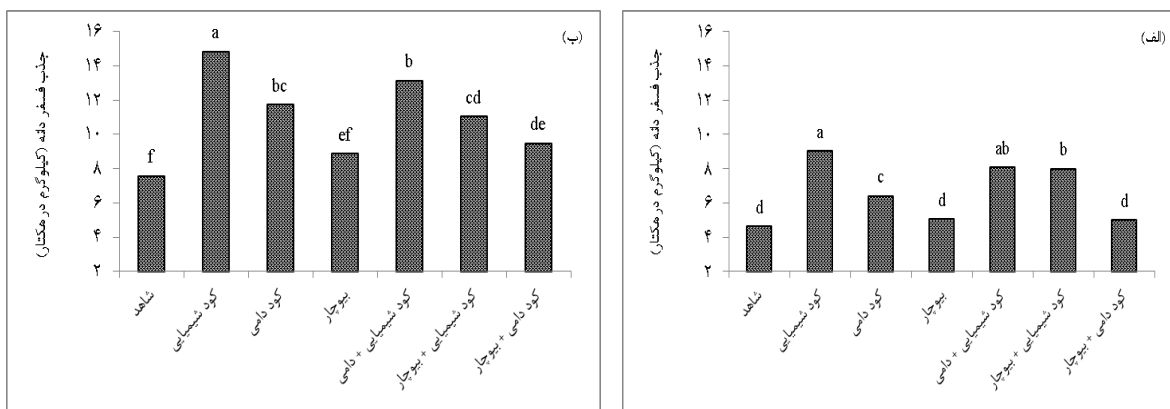
کود دامی هم قادر است به‌مرور عناصر ماکرو و میکرو مورد نیاز گیاه را تأمین نماید و در صورت کاربرد تلفیقی همراه کود شیمیایی، در طول دوره رشد عناصر غذایی را به‌طور یکنواخت در اختیار گیاه قرار می‌دهد و مانع از کمبود عناصر غذایی در گیاه خواهد شد. همچنین به‌نظر می‌رسد در اوایل فصل رشد در شرایط استفاده از کود شیمیایی + بیوجار، احتمالاً کاهش موقتی نیتروژن توسط کود شیمیایی جبران و موجب افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه می‌شود.

نتایج این تحقیق با یافته‌های خودشناس و همکاران (۱۳۹۴) مبنی بر افزایش میزان جذب نیتروژن ذرت علوفه‌ای پس از کاربرد کود شیمیایی مطابقت دارد. در سایر پژوهش‌ها هم افزایش جذب نیتروژن و فسفر در ذرت در تیمارهای کود دامی + NK و کود دامی + NPK (ووگلر و همکاران، ۲۰۰۹) و افزایش

جذب نیتروژن در گندم در اثر استفاده از بیوپچار به همراه کود نیتروژن نیز گزارش شده است (ونزوئیتن و همکاران، ۲۰۱۰).

با اضافه کردن بقایای گیاهی به خاک، پوسیدگی بقایا در فصل بعدی رشد موجب افزایش عناصر غذایی می‌شود. بنابراین در سال دوم افزایش جذب نیتروژن دانه در شرایط برگرداندن بقایا و استفاده از کود شیمیایی (شکل ۴-۱۰-ب) می‌تواند مربوط به معدنی شدن بقایای گیاهی باشد که موجب آزاد شدن نیتروژن در خاک شده است.

همان‌طوری که در جدول ۴-۵ ملاحظه می‌شود در هر دو سال، جذب فسفر دانه تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای قرار گرفت. در سال اول بیشترین جذب فسفر دانه مربوط به کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی بود. کمترین جذب فسفر دانه نیز در شاهد، بیوپچار و کود دامی + بیوپچار به دست آمد (شکل ۴-۱۱-الف). در سال دوم نیز بیشترین جذب فسفر دانه در کود شیمیایی به دست آمد. کود شیمیایی جذب فسفر دانه را ۹۶/۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. کمترین جذب فسفر دانه نیز مربوط به شاهد و بیوپچار بود (شکل ۴-۱۱-ب).



شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر جذب فسفر دانه ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

به‌نظر می‌رسد کود دامی به‌دلیل دارا بودن فسفر (جدول ۳-۳) و کود شیمیایی هم با افزایش فراهمی و در نتیجه قابلیت دسترسی فسفر در خاک (شکل ۴-۲۱) در مقایسه با سایر تیمارها باعث افزایش فسفر دانه در هر دو سال شده‌اند. کودهای دامی قادر به تولید انواع متعددی از اسیدهای آلی می‌باشند که از طریق جایگزینی فسفر پیوند شده با سطح‌های تثبیت‌کننده باعث رهاسازی این عنصر در خاک می‌شوند. همچنین جمعیت ریزجانداران خاک با اضافه شدن مواد آلی به خاک افزایش می‌یابد که باعث گردش سریع‌تر عناصر غذایی می‌شود و در این شرایط قابلیت جذب عناصر غذایی به‌عنوان مثال فسفر افزایش می‌یابد و در نتیجه گیاه فسفر بیشتری جذب می‌کند (خادم و همکاران، ۱۳۹۳).

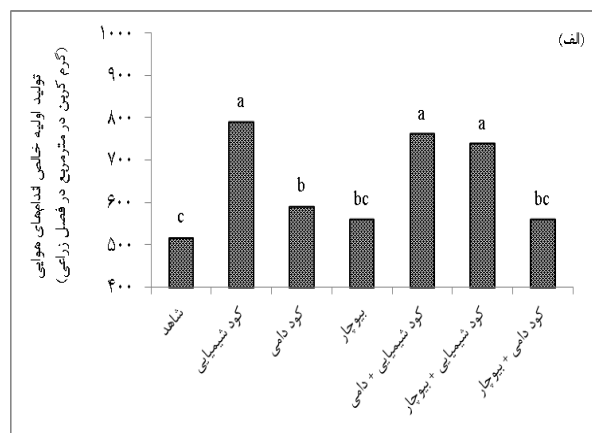
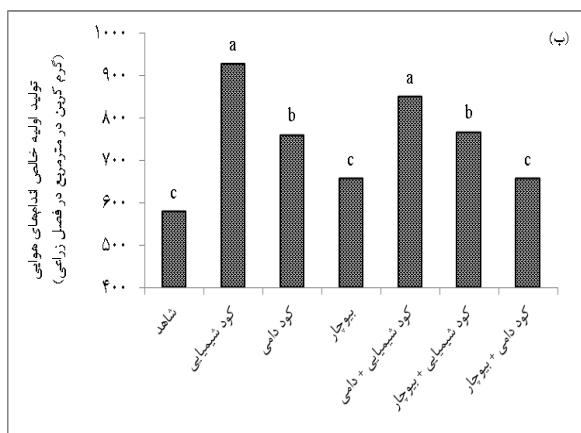
در سال دوم به‌دلیل وجود فرصت کافی برای تجزیه بقایای گیاهی و آزادسازی اسیدهای آلی توسط بقایای گیاهی، قابلیت دسترسی به فسفر خاک (شکل ۴-۲۱-ب) و عملکرد دانه (شکل ۴-۸-ب) افزایش یافته است که باعث افزایش میزان جذب فسفر در دانه شده است.

۴-۸- تولید اولیه خالص (NPP) اندام‌های هوایی و زیرزمینی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۵) سطوح مختلف سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای تأثیر معنی‌داری بر تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی و زیرزمینی نداشتند. به‌دلیل اینکه سیستم‌های خاکورزی با تأثیر بر برخی خصوصیات خاک (مانند رطوبت، دما، ماده آلی خاک و خاکدانه) بر رشد ریشه اثر می‌گذارند و با توجه به عدم معنی‌داری سیستم‌های خاکورزی بر رطوبت (جدول ۴-۹) و ماده آلی خاک (جدول ۴-۱۴) به‌نظر می‌رسد که عدم معنی‌داری سیستم‌های خاکورزی بر رشد ریشه منطقی باشد. همچنین می‌توان بیان کرد که پژوهش‌های مربوط به خاکورزی باید طولانی مدت باشد تا اثرات آن بر رشد ریشه گیاه مشخص شود.

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۵) مدیریت تغذیه‌ای اثر معنی‌داری بر تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی و زیرزمینی داشت. در سال اول همان‌گونه که در شکل ۴-۱۲-الف مشاهده می‌شود بیشترین تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی در کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار به‌دست آمد. کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی را به‌ترتیب ۵۲/۶۱، ۴۷/۰۴ و ۴۲/۶۹ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین تولید اولیه خالص نیز در شاهد، بیوچار و کود دامی + بیوچار به‌دست آمد (شکل ۴-۱۲-الف).

در سال دوم نیز بیشترین تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی به‌ترتیب با ۹۲۶/۷۳ و ۸۴۹/۱۱ گرم کربن در مترمربع در فصل زراعی مربوط به کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی بود. کود شیمیایی + دامی باعث افزایش ۴۷/۰۵ درصدی تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی نسبت به شاهد شد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی نداشت. کمترین تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی نیز مربوط به شاهد، بیوچار و کود دامی + بیوچار بود (شکل ۴-۱۲-ب).



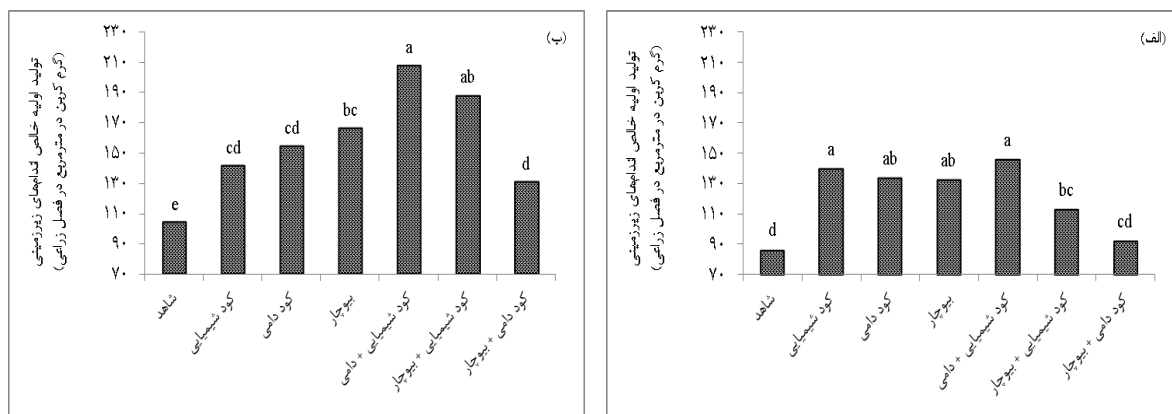
شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

با افزایش نیتروژن، سطح برگ گیاه، نفوذ نور و کارایی مصرف نور افزایش می‌یابد. لذا رشد گیاه با سرعت بیشتری انجام می‌شود و عملکرد افزایش خواهد یافت. همچنین با افزایش نیتروژن، فعالیت آنزیم‌های درگیر در فعالیت فتوسنتزی، تجمع مواد فتوسنتزی و کارایی فتوسنتز افزایش می‌یابد که در نهایت منجر به افزایش رشد می‌شود. بنابراین اضافه کردن نیتروژن منجر به تحریک رشد گیاه می‌شود که در نتیجه ذخیره کربن را در اندام‌های گیاهی افزایش می‌دهد.

در سال اول بیشترین تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی در کود شیمیایی، کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی به‌دست آمد. تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی در کود شیمیایی، کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی به‌ترتیب $61/93$ ، $54/91$ ، $53/21$ و $68/55$ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی نیز مربوط به شاهد و کود دامی + بیوچار بود (شکل ۴-۱۳-الف).

در سال دوم نیز بر اساس نتایج مقایسه میانگین به‌دست آمده (شکل ۴-۱۳-ب) بیشترین تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی به‌ترتیب با $207/21$ و $187/63$ گرم کربن در مترمربع در فصل زراعی مربوط به کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار بود. کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار به‌ترتیب باعث افزایش $99/66$ و $80/79$ درصدی تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی نسبت به شاهد شدند که اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی نیز در شاهد مشاهده شد (شکل ۴-۱۳-ب).



شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی ذرت در دو سال زراعی (الف) ۱۳۹۴-۹۵ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

رشد اندام هوایی تابعی از رشد ریشه می‌باشد، بنابراین در صورت بهبود شرایط رشد ریشه، جذب عناصر غذایی افزایش یافته و رشد اندام هوایی بهبود می‌یابد و به دلیل اینکه ریشه‌ها و اندام هوایی منبعی از کربن آلی هستند، با افزایش زیست‌توده ریشه و برگرداندن بقایای اندام‌های هوایی به خاک میزان کربن در خاک افزایش خواهد یافت. کود دامی رشد گیاه را از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و فراهمی عناصر مورد نیاز آن افزایش می‌دهد. با افزایش پایداری ساختمان و خاصیت الاستیسیته خاک در اثر اضافه شدن کود دامی، تراکم‌پذیری خاک کاهش می‌یابد و در این شرایط ریشه بهتر رشد می‌کند. بیوپجار نیز از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی، فراهم کردن شرایط برای رشد ریشه و نگهداری آب و مواد غذایی موجود در خاک می‌تواند در رشد گیاه مؤثر باشد (آتکینسون و همکاران، ۲۰۱۰).

نتایج تحقیقات لو و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که ذخایر کربن در اندام‌های هوایی و زیرزمینی به‌طور معنی‌داری با افزودن نیتروژن به خاک افزایش یافت که منجر به افزایش نهاده کربن از طریق برگرداندن ریشه و بقایای گیاهی به خاک شد. در بررسی دیگری روی گیاه ذرت، خرم‌دل (۱۳۹۰) گزارش کرد که تأثیر تیمارهای مختلف مدیریت نظام زراعی بر تولید اولیه خالص معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین تولید

اولیه خالص به ترتیب در نظام زراعی پرنهاده و کم نهاده بر پایه مصرف کمپوست به دست آمد. آن‌ها بیان کردند که پایین تر بودن میزان تسهیم مواد فتوسنتزی برای رشد اندام‌های مختلف ذرت در نظام کم نهاده بر پایه مصرف کمپوست، سبب کاهش زیست توده اندام‌های مختلف گیاهی و در نهایت کاهش تولید خالص در این نظام زراعی شد. از طرفی مصرف نیتروژن به صورت شیمیایی به دلیل فراهمی سریع تر نیتروژن باعث تحریک رشد رویشی، تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و در نهایت افزایش تولید خالص کل گردید.

زمانی باب گهری و همکاران (۱۳۸۹) نیز بیان کردند که در شرایط استفاده از کود گاوی، با کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک به دلیل افزایش تخلخل این نهاده آلی شرایط برای رشد اندام‌های گیاه بهبود یافت. احتمالاً با کاهش جرم مخصوص ظاهری در اثر اضافه کردن کودهای آلی، شرایط بهتری برای رشد ریشه‌های ذرت فراهم می‌شود. تأثیر افزایش کود دامی بر بهبود تراکم ریشه توسط مصدقی و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش شده است. به علاوه در آزمایش دیگری مشاهده شد که وزن ریشه‌های گیاه ذرت در اثر استفاده از بیوپار نسبت به شاهد افزایش یافت (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳).

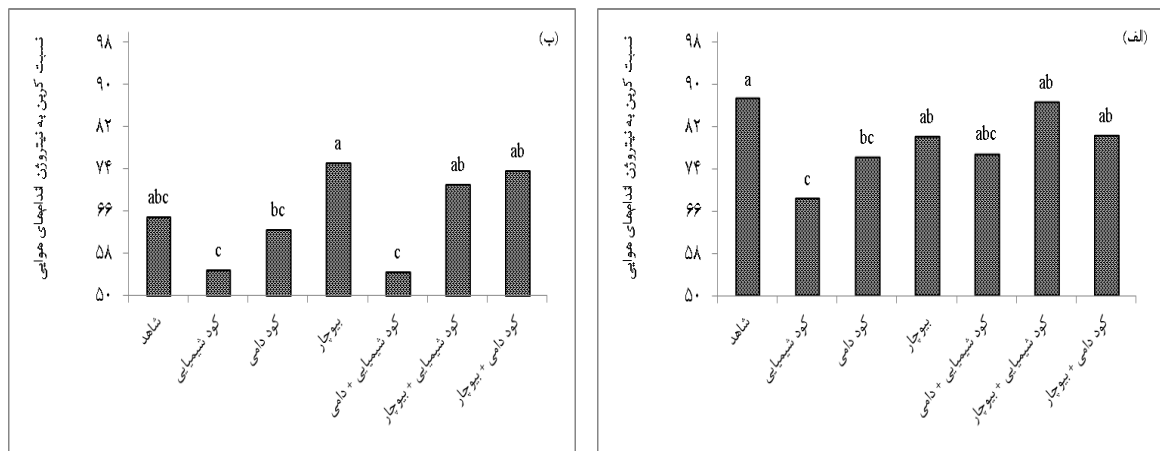
۹-۴- نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی (ساقه + برگ) و ریشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۷) در هر دو سال سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای اثر معنی‌داری بر نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی و ریشه نداشتند. همچنین نسبت کربن به نیتروژن ریشه نیز تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای قرار نگرفت. اما مدیریت تغذیه‌ای در سال اول و دوم به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد تأثیر معنی‌داری بر نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی داشت.

اثر مدیریت تغذیه‌ای بر نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی در سال اول و دوم در شکل ۴-۱۴-الف و ۴-۱۴-ب ارائه شده است. در سال اول بیشترین نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی متعلق به

شاهد، بیوچار، کود شیمیایی + دامی، کود شیمیایی + بیوچار و کود دامی + بیوچار بود که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی نیز مربوط به کود شیمیایی، کود دامی و کود شیمیایی + دامی بود (شکل ۴-۱۴-الف).

در سال دوم نیز بیشترین نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی مربوط به شاهد، بیوچار، کود شیمیایی + بیوچار و کود دامی + بیوچار بود که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی نیز در شاهد، کود شیمیایی، کود دامی و کود شیمیایی + دامی مشاهده شد (شکل ۴-۱۴-ب).



شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی ذرت در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند

احتمالاً بالا بودن غلظت کربن آلی و پایین بودن غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی باعث افزایش نسبت کربن به نیتروژن گردیده است. همچنین به نظر می‌رسد که پایین بودن نسبت کربن به نیتروژن در کود شیمیایی، کود دامی و کود شیمیایی + دامی مربوط به بالا بودن غلظت نیتروژن در این تیمارها باشد.

سنزکوبنا و همکاران (۲۰۱۲) نسبت کربن به نیتروژن بقایای ذرت را در شاهد و کود شیمیایی به ترتیب ۷۳/۳۸ و ۶۳/۱۱ گزارش کردند. همان‌گونه که در شکل ۴-۱۴-الف و ۴-۱۴-ب مشاهده می‌شود

در هر دو سال بین بیوپچار و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. این نتایج با یافته‌های جونز و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. همچنین آگنیهو و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند که مکمل‌های آلی (بیوپچار و کمپوست) اثر معنی‌داری بر محتوی کربن گیاه جو نداشتند. مونگای و همکاران (۲۰۰۵) نیز نسبت کربن به نیتروژن برگ، ساقه و ریشه ذرت را به‌ترتیب ۵۰/۶، ۷۶ و ۳۶/۳ گزارش کردند.

۴-۱۰- pH خاک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۹) اثر سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی بر pH در دو سال معنی‌دار نبود. ووگلر و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی دو سیستم خاکورزی حفاظتی (استفاده از چیزل) و خاکورزی مرسوم (گاواهن برگرداندار) گزارش کردند که بعد از ۵ سال سیستم‌های خاکورزی اثر معنی‌داری بر pH خاک نداشتند. اما در لایه بالایی خاک در خاکورزی حفاظتی در مقایسه با خاکورزی مرسوم pH اندکی بالاتر بود. همچنین رحیم‌زاده و نوید (۱۳۹۰) در بررسی روش‌های مختلف خاکورزی مشاهده کردند که بین سیستم‌های خاکورزی مرسوم (گاواهن برگرداندار + غلطک) و گاواهن قلمی + غلطک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

مدیریت تغذیه‌ای نیز در هر دو سال اثر معنی‌داری بر pH خاک نداشت (جدول ۴-۹). همان‌گونه که در جدول ۴-۱۱ مشاهده می‌شود در سال اول و دوم pH خاک تحت تأثیر کود دامی قرار نگرفت، این نتایج با یافته‌های زمانی باب‌گه‌ری و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد. در حالی که مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای نشان‌دهنده اثر معنی‌دار بیوپچار در سال اول و دوم بر pH خاک نسبت به شاهد می‌باشد. pH خاک در سال اول و دوم به‌ترتیب ۰/۱۴ و ۰/۱۱ واحد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۴-۱۱). در این زمینه فتحی گردلیدانی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که بیوپچار باعث افزایش معنی‌دار pH خاک شد.

در سال دوم pH اندکی در مقایسه با سال اول کاهش یافت (جدول ۴-۱۰ و ۴-۱۱) که احتمالاً می‌تواند به دلیل افزایش ماده آلی خاک (شکل ۴-۲۲-ب) و در نتیجه افزایش فعالیت ریزجانداران خاکری و تولید دی‌اکسید کربن (شکل ۴-۱۷) باشد که باعث کاهش pH شده است (نوربخش و کریمیان اقبال، ۱۳۷۶).

۴-۱۱- رطوبت وزنی خاک

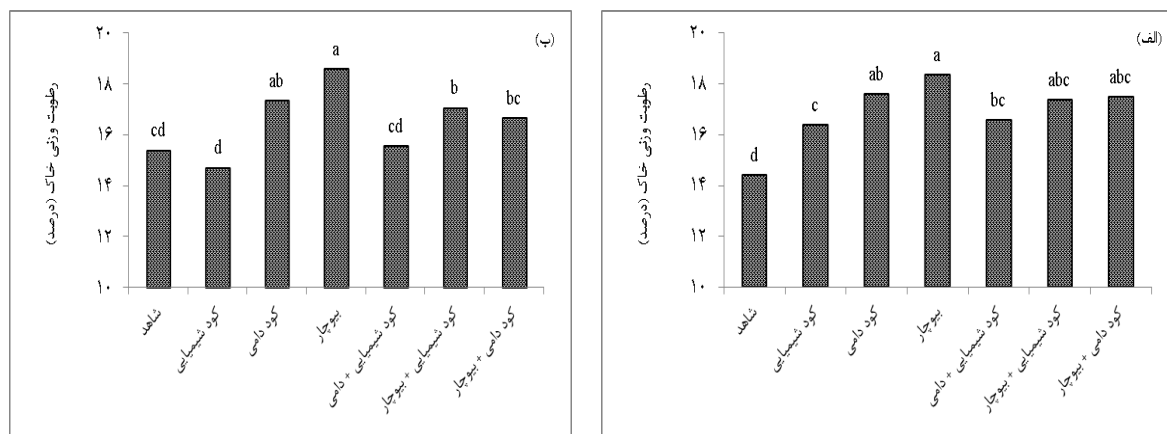
اثر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر رطوبت وزنی خاک در دو سال در جدول ۴-۹ آمده است. همان‌گونه که در این جدول ملاحظه می‌گردد سیستم‌های خاکورزی در دو سال اثر معنی‌داری بر رطوبت وزنی خاک نداشتند. در هر دو سال رطوبت وزنی خاک در کم‌خاکورزی اندکی بیشتر از خاکورزی مرسوم بود (به ترتیب افزایش ۳/۶۸ و ۵/۴۹ درصدی رطوبت وزنی خاک در کم‌خاکورزی در مقایسه با خاکورزی مرسوم در سال اول و دوم) (جدول ۴-۱۰).

البته با توجه به بالا بودن ماده آلی خاک در سیستم کم‌خاکورزی (جدول ۴-۱۵) و تأثیر زیاد بودن ماده آلی خاک در افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک (یوسیری و لال، ۲۰۰۹)، بالاتر بودن رطوبت وزنی در کم‌خاکورزی در مقایسه با خاکورزی مرسوم و عدم معنی‌داری آن‌ها بر رطوبت وزنی خاک منطقی به نظر می‌رسد (با توجه به نتایج جدول ۴-۱۵ اختلاف بین سیستم‌های خاکورزی از نظر ماده آلی خاک معنی‌دار نبود). افزایش اندک رطوبت وزنی خاک در سیستم کم‌خاکورزی می‌تواند به علت افزایش ماده آلی خاک (جدول ۴-۱۵) و کاهش تبخیر از سطح خاک به دلیل حفظ بقایای گیاهی در سطح آن باشد. در خاکورزی مرسوم به دلیل عدم وجود بقایا بر سطح، خاک سریعتر گرم می‌شود و رطوبت موجود در خاک با سرعت بیشتری تبخیر می‌گردد که می‌تواند یکی از دلایل کاهش رطوبت وزنی خاک در خاکورزی مرسوم باشد. هر چه خاک به میزان کمتری به هم می‌خورد، به دلیل کاهش میزان تهویه و تبخیر، رطوبت بیشتری در خاک ذخیره می‌گردد و هر چه سطح تماس با خاک در اثر خاکورزی به عنوان مثال گاواهن برگرداندن

افزایش یابد، میزان تلفات رطوبتی از طریق تبخیر از سطح خاک نیز افزایش می‌یابد. البته پایین بودن ماده آلی خاک در خاکورزی مرسوم (جدول ۴-۱۵) در مقایسه با کم‌خاکورزی هم یکی از دلایل پایین بودن رطوبت وزنی خاک در خاکورزی مرسوم می‌باشد. عدم معنی‌داری سیستم‌های خاکورزی بر رطوبت خاک توسط رحیم‌زاده و نوید (۱۳۹۰) هم گزارش شده است.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۹) نشان داد که اثر مدیریت تغذیه‌ای بر رطوبت وزنی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. در سال اول بیشترین رطوبت وزنی خاک در کود دامی، بیوپار، کود شیمیایی + بیوپار و کود دامی + بیوپار به دست آمد. کود دامی، بیوپار، کود شیمیایی + بیوپار و کود دامی + بیوپار به ترتیب باعث افزایش ۲۱/۸۶، ۲۷/۲۰، ۲۰/۴۰ و ۲۱/۲۳ درصدی رطوبت وزنی خاک نسبت به شاهد شدند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین رطوبت وزنی نیز مربوط به شاهد بود (شکل ۴-۱۵-الف).

در سال دوم نیز بیشترین رطوبت وزنی خاک در کود دامی و بیوپار مشاهده شد. کود دامی و بیوپار رطوبت وزنی خاک را به ترتیب ۱۲/۷۳ و ۲۰/۷۳ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند و کمترین رطوبت وزنی خاک نیز مربوط به شاهد، کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی بود (شکل ۴-۱۵-ب).



شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر رطوبت وزنی خاک در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

در این رابطه کلیک و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهش‌های خود بیان کردند که محتوی آب قابل دسترس با مصرف کود دامی افزایش یافت. همچنین سایر محققین گزارش کرده‌اند که کود دامی باعث بهبود میانگین وزنی-قطر خاکدانه‌ها، تخلخل و ظرفیت نگهداری آب خاک‌ها می‌شود (رسول و همکاران، ۲۰۰۸؛ کرمی و همکاران، ۲۰۱۲).

در مورد بیوچار نیز با افزایش دما در زمان تهیه آن، سطح مقطع بیوچار افزایش یافته (پنگ و همکاران، ۲۰۱۱) و هر چه سطح مقطع بیوچار بیشتر باشد، فضاها و مکان‌های بیشتری برای نگهداری آب و مواد غذایی فراهم می‌شود (لهمن و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین ساختار منفذدار بیوچار باعث افزایش نگهداری آب و بهبود تعادل آن می‌شود. نتایج مشابه توسط تاممورگ و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش شده است. آگگنهو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که مکمل‌های آلی (کمپوست و بیوچار) به دلیل افزایش نفوذ و نگهداری آب در طول دوره رشد گیاه باعث بهبود محتوی آب خاک شدند. آگگنهو و همکاران (۲۰۱۵) هم مشاهده کردند که محتوی آب خاک از ۱۸ درصد در تیمار مصرف کود شیمیایی به ۲۳ درصد در شرایط کاربرد بیوچار افزایش یافت.

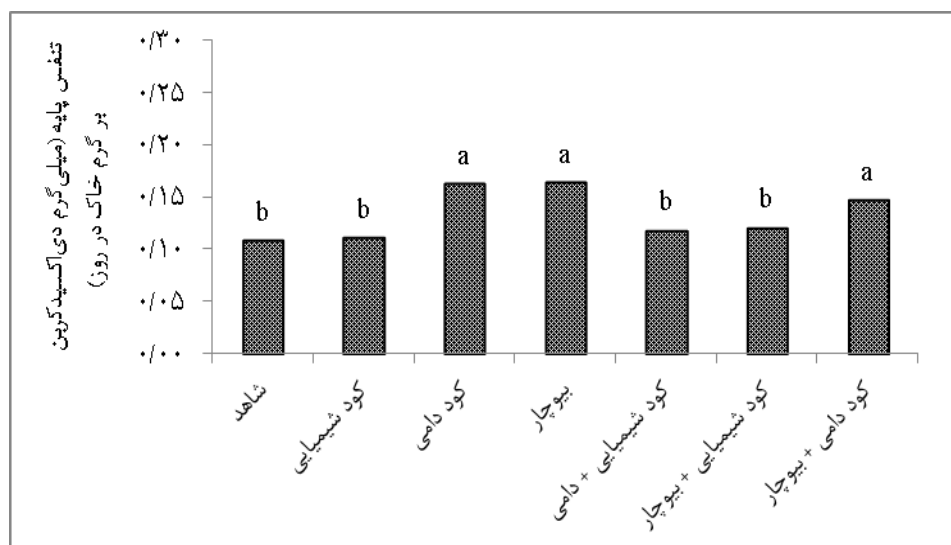
گو و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که محتوی آب خاک در کود شیمیایی در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک کمترین مقدار بود و در شرایط استفاده از کمپوست کود گاوی به همراه کود شیمیایی محتوی آب خاک افزایش یافت. نتایج یافته‌های آن‌ها نشان داد که بین میزان مصرف کمپوست کود گاوی و محتوی آب خاک همبستگی مثبت و قابل‌توجهی وجود داشت.

۴-۱۲- تنفس پایه خاک

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۹) نشان داد که در هر دو سال سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای تأثیر معنی‌داری بر تنفس پایه خاک داشتند. در سال دوم نیز اثر متقابل خاکورزی × مدیریت تغذیه‌ای تأثیر معنی‌داری بر تنفس پایه خاک داشت.

همان‌گونه که در جدول ۴-۱۰ مشاهده می‌شود در هر دو سال بیشترین تنفس پایه خاک در سیستم کم‌خاکورزی به‌دست آمد. سیستم کم‌خاکورزی در سال اول و دوم به‌ترتیب باعث افزایش ۶۱/۷۶ و ۵۵/۴۷ درصدی تنفس پایه خاک در مقایسه با خاکورزی مرسوم شد (جدول ۴-۱۰). با کاهش شدت خاکورزی و افزایش خاکدانه‌های خاک و کاهش اکسیداسیون، شرایط برای تجمع کربن در لایه شخم فراهم می‌شود (کارپنتر بوگس و همکاران، ۲۰۰۳)، در صورتی‌که با افزایش شدت خاکورزی در خاکورزی‌های مرسوم خاکدانه‌های خاک تخریب و ماده آلی خاک کاهش می‌یابد (میخا و رایس، ۲۰۰۴). بنابراین بالاتر بودن معدنی شدن کربن در خاکورزی حفاظتی نسبت به خاکورزی مرسوم را می‌توان به بیشتر بودن سوبستراهای کربن نسبت داد (چن و همکاران، ۲۰۰۹). افزایش معدنی شدن کربن در خاکورزی حفاظتی در مقایسه با خاکورزی مرسوم توسط آوال و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شده است.

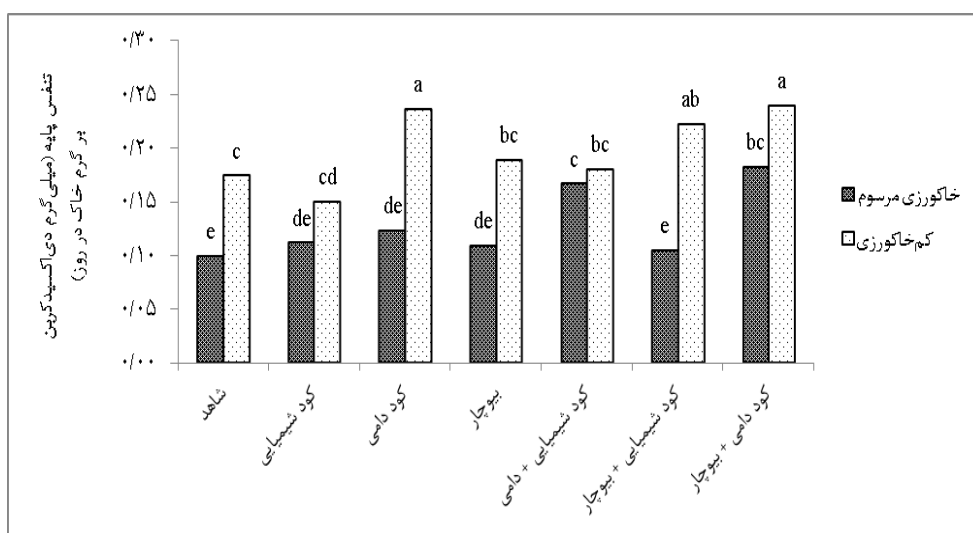
مقایسه میانگین مدیریت تغذیه‌ای (شکل ۴-۱۶) نشان داد که در سال اول بیشترین تنفس پایه خاک در کود دامی، بیوچار و کود دامی + بیوچار به‌دست آمد. کود دامی، بیوچار و کود دامی + بیوچار تنفس پایه خاک را به‌ترتیب ۴۹/۵۴، ۵۰/۴۶ و ۳۴/۸۶ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین تنفس پایه خاک نیز مربوط به شاهد، کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار بود (شکل ۴-۱۶).



شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تنفس پایه خاک در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴. میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند. به‌نظر می‌رسد علت اصلی افزایش جمعیت میکروبی خاک ناشی از افزایش ماده آلی خاک (شکل ۴-۲۲) باشد. کودهای آلی با بهبود ساختمان خاک و افزایش ماده آلی خاک باعث افزایش جمعیت میکروبی خاک می‌شوند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین افزایش زیست‌توده میکروبی در کود دامی می‌تواند به‌دلیل نقش کود دامی در افزایش رشد ریشه و ترشحات ریشه‌ای (شکل ۴-۱۳-الف) و کربن و نیتروژن موجود در این کود آلی (جدول ۳-۳) باشد (کانچی کریمس و سینگ، ۲۰۰۱).

در پژوهش‌های دیگری خلیل‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) و مین و همکاران (۲۰۰۳) مشاهده کردند که کاربرد کود گاوی باعث افزایش تنفس میکروبی گردید. گزارش شده است که اثر بیوپچار بر فعالیت میکروبی خاک می‌تواند ناشی از ترکیبات آلی و ساختار منفذدار بیوپچار و در نتیجه فراهم کردن پناهگاهی مناسب برای آن‌ها (گرابر و همکاران، ۲۰۱۰)، اختصاص کربن به اندام‌های زیرزمینی و تغییر کمیت و کیفیت ترشحات ریشه‌ای باشد (نگیون، ۲۰۰۳). جونز و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که بیوپچار باعث افزایش تنفس خاک و جوامع میکروبی شامل قارچ‌ها و باکتری‌ها گردید.

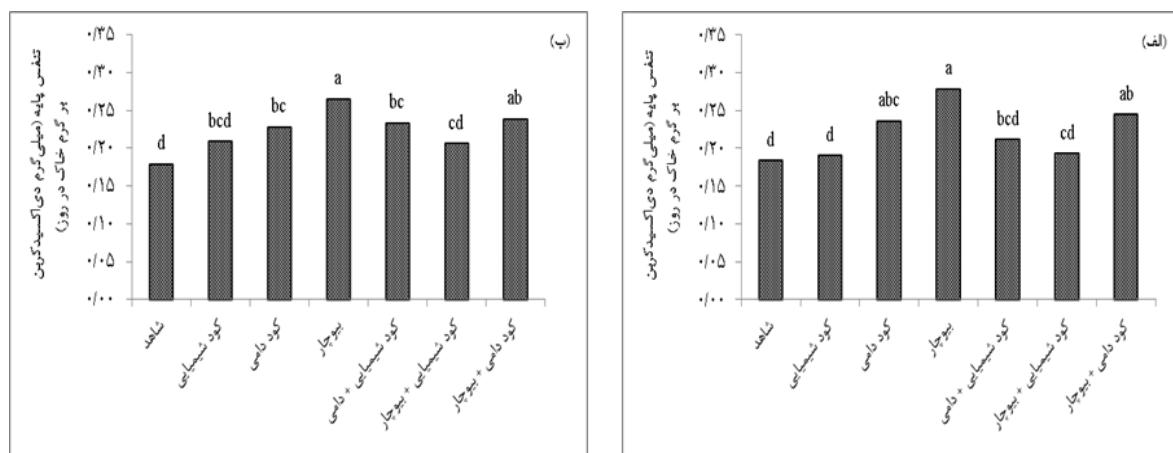
در بررسی اثر متقابل خاکورزی × مدیریت تغذیه‌ای بر تنفس پایه خاک مشاهده شد که بیشترین میزان تنفس پایه خاک در کم خاکورزی به همراه کود دامی، کود شیمیایی + بیوچار و کود دامی + بیوچار به دست آمد و کمترین میزان آن نیز مربوط به خاکورزی مرسوم به همراه شاهد، کود شیمیایی، کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + بیوچار بود (شکل ۴-۱۷). به نظر می‌رسد که افزایش ماده آلی در سیستم کم خاکورزی به دلیل افزودن کود دامی و بیوچار به خاک باعث افزایش تنفس پایه خاک شده است.



شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین اثر متقابل خاکورزی × مدیریت تغذیه‌ای بر تنفس پایه خاک در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵. میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند. در هر دو سال بعد از برگرداندن بقایای گیاهی نیز تنفس پایه خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۹) اثر سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر تنفس پایه خاک در هر دو سال معنی‌دار بود.

در سال اول و دوم کم خاکورزی در مقایسه با خاکورزی مرسوم تنفس پایه خاک را به طور معنی‌داری افزایش داد. با برگرداندن بقایای گیاهی در سال اول و دوم در کم خاکورزی در مقایسه با زمان برداشت گیاه تنفس پایه خاک به ترتیب ۵۶/۳۶ و ۲۴/۱۲ درصد افزایش یافت (جدول ۴-۱۰).

در سال اول بیشترین تنفس پایه خاک در کود دامی، بیوپار و کود دامی + بیوپار مشاهده شد و کمترین تنفس پایه خاک نیز مربوط به شاهد، کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوپار بود. در سال دوم نیز بیشترین تنفس پایه خاک در بیوپار و کود دامی + بیوپار به دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین میزان آن نیز در شاهد، کود شیمیایی و کود شیمیایی + بیوپار مشاهده شد. در سال اول و دوم کاربرد بیوپار در شرایط برگرداندن بقایای گیاهی (به ترتیب ۰/۲۷۹ و ۰/۲۶۵ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک در روز برای سال اول و دوم) نسبت به برداشت گیاه (به ترتیب ۰/۱۶۴ و ۰/۱۴۹ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک در روز برای سال اول و دوم) به ترتیب باعث افزایش ۷۰/۱۲ و ۷۷/۸۵ درصدی تنفس پایه خاک گردید (اشکال ۴-۱۶، ۴-۱۷ و ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۸ - مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تنفس پایه خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

در این شرایط احتمالاً افزایش تنفس پایه خاک به دلیل اضافه شدن بقایای گیاهی و افزایش جمعیت ریزجانداران خاکزی می‌باشد. بین شاخص‌های جمعیت میکروبی (تعداد ریزجانداران و قارچ‌های خاک) و فعالیت جمعیت میکروبی (شدت تنفس پایه) و افزودن بقایای گیاهی رابطه مستقیمی وجود دارد. بنابراین

افزایش تنفس پایه خاک می‌تواند به دلیل افزایش تعداد باکتری‌ها و قارچ‌های خاک باشد که در نتیجه فعالیت ریزجانداران به دلیل نقش آن‌ها در تجزیه بقایای گیاهی بیشتر شده است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۲). در پژوهشی حیدری و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که با افزودن بقایا به خاک و در نتیجه افزایش ماده آلی و بیشتر شدن ریزجانداران خاکزی، فعالیت آن‌ها در اثر فراهمی مواد غذایی بیشتر شد و باعث افزایش شدت تنفس گردید.

۴-۱۳- نیتروژن کل خاک

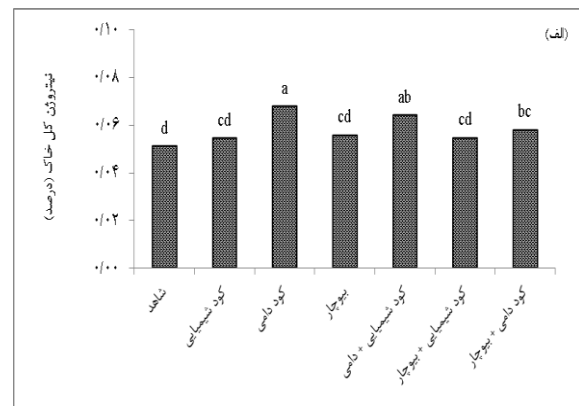
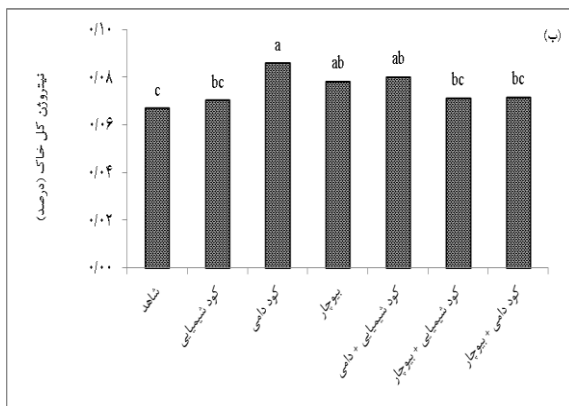
با توجه به نتایج جدول ۴-۱۲ در هر دو سال سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در زمان برداشت گیاه و بعد از برگرداندن بقایای گیاهی اثر معنی‌داری بر نیتروژن کل خاک نداشتند.

در زمان برداشت گیاه در خاکورزی مرسوم در مقایسه با کم‌خاکورزی، نیتروژن کل خاک در سال اول و دوم به ترتیب ۱۶/۹۸ و ۸/۳۳ درصد افزایش یافت که میزان افزایش از نظر آماری قابل توجه و معنی‌دار نبود (جدول ۴-۱۳). احتمالاً به دلیل بهم خوردگی بیشتر خاک در خاکورزی مرسوم و افزایش سرعت تجزیه، نیتروژن کل خاک در خاکورزی مرسوم افزایش یافته است. این نتایج با یافته‌های بلور و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. آن‌ها مشاهده کردند که بیشترین میزان نیتروژن خاک در سیستم خاکورزی مرسوم (گاواهن برگرداندار + دو بار دیسک) و کمترین میزان آن در سیستم بی‌خاکورزی به دست آمد و بین خاکورزی مرسوم و کم‌خاکورزی (چیزل + دیسک) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اما نتایج پژوهش‌های ووگلر و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که غلظت نیتروژن کل در طی چندین سال از ۰/۷ تا ۱ میلی گرم بر گرم خاک بود که مقدار آن در لایه سطحی خاک (۰-۱۵ سانتی متری) در خاکورزی حفاظتی بالاتر بود.

در هر دو سال مدیریت تغذیه‌ای تأثیر معنی‌داری بر نیتروژن کل خاک در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۴-۱۲). مقایسه میانگین نیتروژن کل خاک نشان داد که در سال اول بیشترین نیتروژن کل

خاک در کود دامی و کود شیمیایی + دامی به دست آمد. کود دامی و کود شیمیایی + دامی نیتروژن کل خاک را به ترتیب ۳۳/۳۳ و ۲۵/۴۹ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با هم نداشتند. کمترین میزان آن نیز در شاهد، کود شیمیایی، بیوچار و کود شیمیایی + بیوچار مشاهده شد (شکل ۴-۱۹-الف).

در سال دوم نیز بیشترین نیتروژن کل خاک در کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی به دست آمد. کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی به ترتیب باعث افزایش ۲۸/۳۶، ۱۶/۴۲ و ۱۹/۴۰ درصدی نیتروژن کل خاک نسبت به شاهد شدند که از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با هم نداشتند. کمترین میزان آن نیز در شاهد، کود شیمیایی، کود شیمیایی + بیوچار و کود دامی + بیوچار به دست آمد (شکل ۴-۱۹-ب).



شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر نیتروژن کل خاک در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

احتمالاً افزایش نیتروژن کل در کود دامی و کود شیمیایی + دامی در مقایسه با کود شیمیایی می‌تواند به علت نیتروژن موجود در کود دامی و تبدیل آن به نیتروژن خاک (سینجو و همکاران، ۲۰۰۸) و آزادسازی تدریجی و آهسته نیتروژن از کود دامی باشد. در این رابطه یانگ و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که در تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی و دامی نیتروژن خاک ۳۴-۹ درصد نسبت به شاهد افزایش

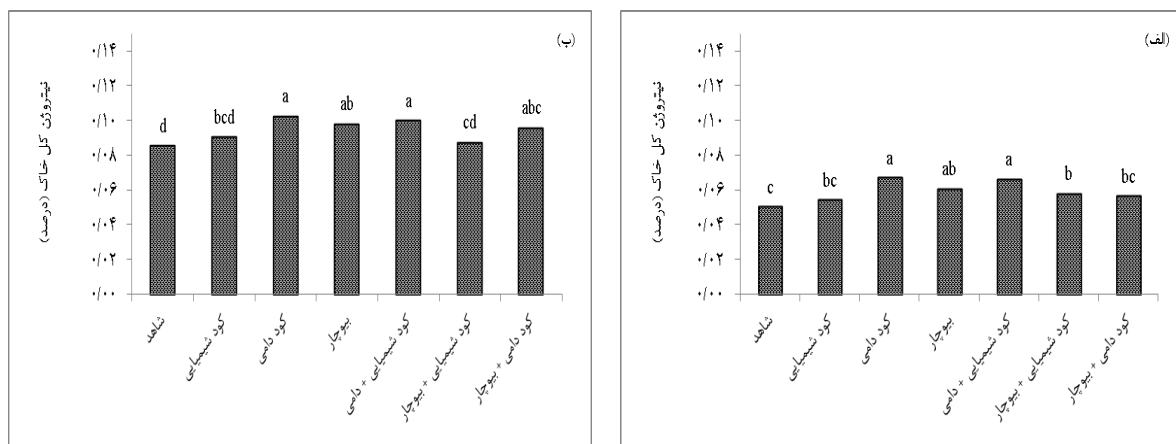
یافت. نتایج پژوهش‌های گو و همکاران (۲۰۱۶) هم نشان‌دهنده افزایش نیتروژن کل خاک در کمپوست کود گاوی و کود شیمیایی + کمپوست کود گاوی بود و تفاوت معنی‌داری بین کود شیمیایی و شاهد مشاهده نشد. در بررسی دیگری خرم‌دل (۱۳۹۰) بیان کرد که بیشترین و کمترین نیتروژن کل خاک به‌ترتیب در نظام کم‌نهاد بر پایه مصرف کود دامی و پرنهاد به‌دست آمد.

در مورد تأثیر بیوچار بر نیتروژن کل خاک، ژنگ و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که استفاده از بیوچار به میزان ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار به‌ترتیب باعث افزایش ۲۴/۱ و ۳۱ درصدی نیتروژن کل خاک نسبت به شاهد شد، در حالی‌که در شرایط استفاده از کود نیتروژن به‌همراه بیوچار غلظت نیتروژن کل خاک در این تیمارها تفاوت معنی‌داری با کود شیمیایی نداشتند. همچنین نتایج پژوهش‌های ژنگ و همکاران (۲۰۱۳) و لیو و همکاران (۲۰۱۴) هم نشان‌دهنده افزایش نیتروژن کل خاک در خاک‌های تیمار حاوی بیوچار می‌باشد. ژنگ و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که مقدار زیاد نیتروژن کل خاک می‌تواند ناشی از افزایش عدم تحرک نیتروژن باشد که بهبود فعالیت میکروبی در اثر بیوچار تأییدکننده آن می‌باشد.

در هر دو سال بعد از برگرداندن بقایای گیاهی، مدیریت تغذیه‌ای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر نیتروژن کل خاک داشت (جدول ۴-۱۲). در سال اول بیشترین نیتروژن کل خاک مربوط به کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی بود. کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی نیتروژن کل خاک را به‌ترتیب ۳۴، ۲۰ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین میزان آن مربوط به شاهد، کود شیمیایی و کود دامی + بیوچار بود (شکل ۴-۲۰-الف).

در سال دوم نیز بیشترین نیتروژن کل خاک در کود دامی، بیوچار، کود شیمیایی + دامی و کود دامی + بیوچار به‌دست آمد. کود دامی، بیوچار، کود شیمیایی + دامی و کود دامی + بیوچار به‌ترتیب باعث افزایش ۱۹/۷۷، ۱۳/۹۵، ۱۶/۲۸ و ۱۱/۶۳ درصدی نیتروژن کل خاک نسبت به شاهد شدند که از لحاظ آماری

اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. کمترین میزان آن مربوط به شاهد، کود شیمیایی و کود شیمیایی + بیوجار بود (شکل ۴-۲۰-ب).



شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر نیتروژن کل خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

در سال اول کود دامی بعد از برگرداندن بقایا (۰/۰۶۷ درصد) در مقایسه با زمان برداشت گیاه (۰/۰۶۸ درصد) تأثیری بر نیتروژن کل خاک نداشت (باعث کاهش ۱/۴۷ درصدی نیتروژن کل خاک در مقایسه با زمان برداشت گیاه شد). اما در سال دوم کود دامی بعد از برگرداندن بقایا (۰/۱۰۳ درصد) باعث افزایش ۱۹/۷۷ درصدی نیتروژن کل خاک نسبت به زمان برداشت گیاه (۰/۰۸۶ درصد) گردید (اشکال ۴-۱۹ و ۴-۲۰). کود شیمیایی + دامی نیز بعد از برگرداندن بقایا (به‌ترتیب ۰/۰۶۶ و ۰/۱۰۰ درصد برای سال اول و دوم) نسبت به زمان برداشت گیاه (به‌ترتیب ۰/۰۶۴ و ۰/۰۸۰ درصد برای سال اول و دوم) به‌ترتیب باعث افزایش ۳/۱۲ و ۲۵ درصدی نیتروژن کل خاک در سال اول و دوم شد (اشکال ۴-۱۹ و ۴-۲۰).

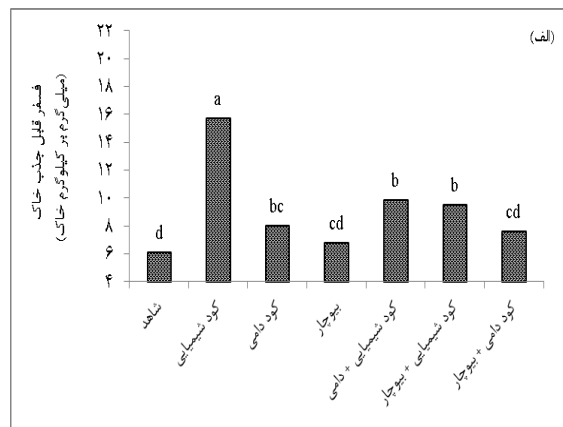
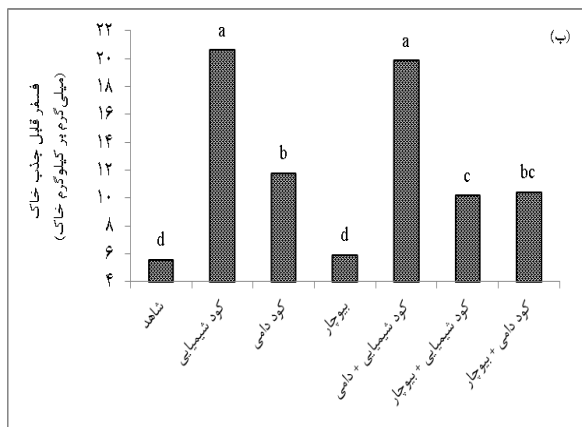
به‌نظر می‌رسد به‌دلیل فرصت کافی برای تجزیه کود دامی و اضافه شدن بقایای گیاهی، نیتروژن کل خاک افزایش یافته است. ریشه‌های گیاه که در لایه‌های سطحی خاک قرار می‌گیرند منبعی از کربن می‌باشند (ونگ و همکاران، ۲۰۰۹). ریشه‌های گیاه نیتروژن معدنی را که از لایه‌های زیرین خاک جذب

کرده‌اند، به لایه‌های سطحی خاک انتقال می‌دهند. وقتی ریشه‌ها از بین می‌روند همه کربن و نیتروژن موجود در آن در لایه سطحی خاک رها می‌شود، بنابراین محتوی کربن و نیتروژن خاک افزایش می‌یابد (ژنگ‌چاو و همکاران، ۲۰۱۳). علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) نیز گزارش کردند که با افزایش بقایای ذرت در هر دو سیستم خاکورزی کاهش یافته و رایج، درصد نیتروژن خاک افزایش یافت.

۴-۱۴- فسفر قابل جذب خاک

در هر دو سال سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای اثر معنی‌داری بر فسفر قابل جذب خاک نداشتند (جدول ۴-۱۲). در تحقیق حاضر فسفر قابل جذب خاک در سیستم کم‌خاکورزی در مقایسه با خاکورزی مرسوم در سال اول و دوم به ترتیب ۱۳ و ۶/۷۸ درصد افزایش یافت که این افزایش از نظر آماری قابل توجه نبود (جدول ۴-۱۳). این نتایج با یافته‌های بلور و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری بین خاکورزی مرسوم (گاواهن برگرداندار + دو بار دیسک) و کم‌خاکورزی (چیزل + دیسک) وجود نداشت. در پژوهش دیگری وینگارد و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی دو سیستم خاکورزی مرسوم و بی‌خاکورزی مشاهده کردند که اثر سیستم‌های خاکورزی در عمق ۵-۰ سانتی‌متری معنی‌دار و در عمق ۲۰-۵ سانتی‌متری غیرمعنی‌دار بود. هنگامی که فسفر به وسیله کلوئیدهای خاک نگهداری می‌شود، قابلیت حرکت آن کاهش یافته و اگر لایه سطحی خاک به وسیله ماشین‌آلات بهم نخورد، فسفر در لایه سطحی تجمع می‌یابد (حسین و همکاران، ۱۹۹۹).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مدیریت تغذیه‌ای در هر دو سال بر فسفر قابل جذب خاک اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴-۱۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سال اول بیشترین میزان فسفر قابل جذب خاک در کود شیمیایی و کمترین میزان آن در شاهد، بیوچار و کود دامی + بیوچار به دست آمد (شکل ۴-۲۱-الف). در سال دوم نیز بیشترین میزان فسفر قابل جذب خاک مربوط به کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی و کمترین میزان آن مربوط به شاهد و بیوچار بود (شکل ۴-۲۱-ب).



شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر فسفر قابل جذب خاک در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

میرزاشاهی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی تأثیر تناوب زراعی و مدیریت مصرف نیتروژن و پسماند گیاهی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک نتایج مشابهی به‌دست آوردند و فسفر قابل جذب خاک در طی چهار سال با مصرف سطوح نیتروژن افزایش یافت.

همان‌گونه که در شکل ۴-۲۱ مشاهده می‌شود فسفر قابل جذب خاک در سال دوم نسبت به سال اول افزایش یافت. احتمالاً افزایش فسفر قابل جذب خاک در سال دوم در مقایسه با سال اول می‌تواند به‌دلیل حفظ بقایای گیاهی و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی از بقایای گیاهی و اثرات باقیمانده کودهای شیمیایی در خاک (وینگارد و همکاران، ۲۰۱۲) باشد. مشابه با این نتایج میرزاشاهی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که در شرایط حفظ بقایای گیاهی در مقایسه با برداشت بقایا، میزان فسفر قابل جذب خاک افزایش یافت. مجیدیان و همکاران (۱۳۸۷) هم گزارش کردند که مقدار فسفر قابل جذب خاک در سال دوم بیشتر از سال اول بود و در سیستم کشاورزی متداول مقدار این عنصر در خاک کاهش یافت. آن‌ها بیان کردند که در مقایسه با کودهای شیمیایی اثرات مفید کود دامی مدت بیشتری دوام آورده و ممکن است قسمتی از ماده آلی در خاک مانده و به‌تدریج عناصر غذایی محلول آن وارد خاک شود.

در سال دوم کود شیمیایی با کود شیمیایی + دامی اختلاف معنی داری از نظر تأثیر بر فسفر قابل جذب خاک نداشت (شکل ۴-۲۱-ب). همچنین در هر دو سال کود دامی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوپار به طور معنی داری فسفر قابل جذب خاک را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۴-۲۱). وقتی بقایای گیاهی و کود دامی به خاک اضافه می شوند، با آزادسازی اسیدهای آلی باعث حل کردن فسفر خاک می شوند و قابلیت دسترسی فسفر را افزایش می دهند. همچنین اجزای کود دامی و بیوپار برای مکان های جذب با فسفر رقابت کرده و در نتیجه فراهمی فسفر افزایش می یابد. از دیگر دلایل افزایش فسفر قابل جذب می توان به موارد دیگری اشاره کرد. از جمله اینکه فسفر نامحلول که بخش قابل توجهی از فسفر کل را تشکیل می دهد، احتمال دارد از طریق تجزیه میکروبی به صورت قابل دسترس گیاه درآید. همچنین ممکن است با تولید دی اکسید کربن در طی فرآیند تجزیه ماده آلی و ایجاد کمپلکس کلسیم که کاتیون اصلی مسئول در تثبیت فسفر می باشد، قابلیت دسترسی به این عنصر افزایش یابد (فتیح گردلیدانی و همکاران، ۱۳۹۴). افزایش فسفر قابل جذب خاک در شرایط استفاده از کود دامی توسط کابیلوسکی و همکاران (۲۰۱۴) و فوستر و همکاران (۲۰۱۶) هم گزارش شده است.

در هر دو سال بیوپار اثر معنی داری بر فسفر قابل جذب خاک نداشت (شکل ۴-۲۱). عدم معنی داری بیوپار بر فسفر قابل جذب می تواند به دلیل محتوی کم این عنصر در بیوپار (جدول ۳-۴) باشد (تامورگ و همکاران، ۲۰۱۴). زلفی باوریانی و همکاران (۱۳۹۵) بیان کردند که با گذشت زمان میزان تولید قندها و اسیدهای آلی در اثر تجزیه ماده آلی کاهش یافته و بنابراین تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر با گذشت زمان کاهش می یابد. از سوی دیگر با افزایش مقاومت بیوپار به تجزیه انتظار می رود که سرعت رهاسازی فسفر در اثر تجزیه بیوپار کمتر باشد، همچنین افزایش pH خاک در اثر بیوپار (جدول ۴-۱۱) هم می تواند در کاهش قابلیت دسترسی فسفر نقش داشته باشد. در برخی پژوهش ها کاهش فسفر قابل جذب به قلیایی بودن خاک نسبت داده شده است (جی و همکاران، ۲۰۱۵).

این نتایج با یافته‌های فوستر و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. عدم معنی‌داری بیوپار بر فسفر قابل جذب توسط سایرین هم گزارش شده است (نجفی قیری، ۱۳۹۴؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۴؛ لیانگ و همکاران، ۲۰۱۴).

۴-۱۵- ماده آلی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در هر دو سال اختلاف معنی‌داری را بر ماده آلی خاک نشان ندادند (جدول ۴-۱۴). اعمال کم‌خاکورزی در مقایسه با خاکورزی مرسوم میزان ماده آلی خاک را در سال اول و دوم به‌ترتیب ۱۶/۴۸ و ۹/۱۲ درصد افزایش داد، هر چند این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴-۱۵). به‌طور کلی خاکورزی از سه طریق موجب تخلیه کربن آلی خاک می‌شود، اول اینکه خاکورزی موجب تسریع فرآیندهای اکسیداسیون یا معدنی شدن می‌شود که این مسأله ناشی از شکسته شدن خاکدانه‌ها و قرار گرفتن مواد آلی در معرض هوا و تهویه خاک می‌باشد. دوم اینکه خاکورزی موجب آبشویی و انتقال کربن محلول در آب یا مواد آلی ذره‌ای می‌شود و نهایتاً اینکه خاکورزی سبب افزایش میزان فرسایش آبی و بادی خاک می‌گردد (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین احتمالاً افزایش اندک ماده آلی خاک در سیستم کم‌خاکورزی به‌دلیل حفظ بقایا در سطح خاک و عدم دستکاری لایه زیرین خاک می‌باشد. در حالی‌که در خاکورزی مرسوم کل بقایای گیاهی و کاه و کلش توسط گاواهن برگرداندار در مقایسه با چیزل برگردان می‌شود و به زیر خاک انتقال می‌یابند، بنابراین شرایط برای اکسیداسیون و معدنی شدن ماده آلی خاک فراهم می‌شود و میزان آن کاهش می‌یابد.

اثر سیستم‌های خاکورزی بر کربن آلی خاک به عمقی که عملیات خاکورزی بقایای گیاهی را با خاک مخلوط می‌کنند، بستگی دارد (دین و کاتاکا، ۲۰۰۳). زمانی می‌توان تفاوت در سیستم‌های خاکورزی را مشاهده نمود که ماده آلی خاک در عمق‌های مختلف بررسی شود. در پژوهش حاضر خصوصیات خاک در

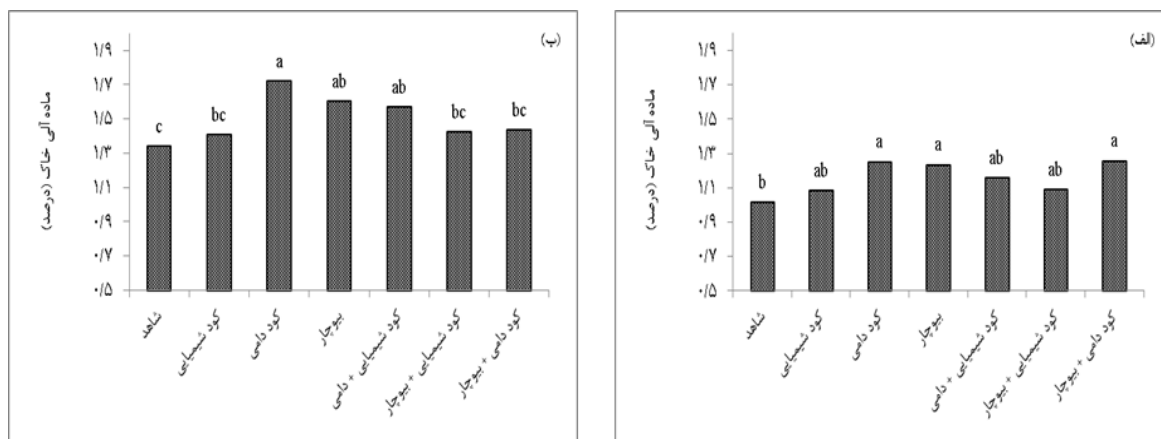
عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک اندازه گیری شد و می تواند یکی از دلایل عدم معنی داری سیستم های خاکورزی بر ماده آلی خاک باشد. همچنین زمان کوتاه انجام پژوهش (دو سال) می تواند یکی دیگر از دلایل عدم وجود تأثیر معنی دار سیستم های خاکورزی بر میزان ماده آلی خاک باشد (پوجت و لال، ۲۰۰۵؛ آوال و همکاران، ۲۰۱۳). دیگر مطالعات نشان داده اند که غلظت کربن آلی خاک در خاک های لوم سیلتی ممکن است به آرامی تغییر کرده یا حتی با تبدیل خاکورزی مرسوم به بی خاکورزی بدون تغییر بماند (یانگ و وندر، ۱۹۹۹).

عدم معنی داری سیستم های خاکورزی بر کربن آلی خاک توسط سایر پژوهشگران هم گزارش شده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۲؛ ووگلر و همکاران، ۲۰۰۹؛ کیبت و همکاران، ۲۰۱۶). حامدی و پرویزی (۱۳۹۵) در ارزیابی تأثیر بلند مدت روش های مختلف مدیریت خاکورزی (بی خاکورزی، چیزل و گلاوآهن برگرداندار) مشاهده کردند که در سال های اول اجرای آزمایش اثر خاکورزی از نظر آماری معنی دار نگردید، اما در سال های پایانی و نیز در مجموع پنج سال اثر خاکورزی از نظر آماری معنی دار شد. در پژوهش دیگری رحیم زاده و نوید (۱۳۹۰) گزارش کردند که از نظر کربن آلی خاک اختلاف بین تیمارهای خاکورزی معنی دار نبود، ولی نتایج نشان دهنده افزایش کربن آلی خاک در گلاوآهن قلمی نسبت به روش مرسوم بود.

در سال اول و دوم مدیریت تغذیه ای تأثیر معنی داری بر ماده آلی خاک داشت (جدول ۴-۱۴). در سال اول بیشترین ماده آلی خاک مربوط به کود شیمیایی، کود دامی، بیوچار، کود شیمیایی + دامی، کود شیمیایی + بیوچار و کود دامی + بیوچار بود. کود شیمیایی، کود دامی، بیوچار، کود شیمیایی + دامی، کود شیمیایی + بیوچار و کود دامی + بیوچار به ترتیب ماده آلی خاک را ۶/۵۹، ۲۳/۱۱، ۲۱/۴۳، ۱۳/۷۶، ۷/۱۸ و ۲۳/۷۰ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با هم نداشتند.

کمترین ماده آلی خاک نیز مربوط به شاهد، کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار بود (شکل ۴-۲۲-الف).

در سال دوم نیز بیشترین ماده آلی خاک در کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی به دست آمد. کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی باعث افزایش ۲۸/۳۱، ۱۹/۵۲ و ۱۷/۰۶ درصدی ماده آلی خاک نسبت به شاهد شدند که از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با هم نداشتند. کمترین ماده آلی خاک نیز در شاهد، کود شیمیایی، کود شیمیایی + بیوچار و کود دامی + بیوچار مشاهده شد (شکل ۴-۲۲-ب).



شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر ماده آلی خاک در دو سال زراعی (الف) ۱۳۹۴-۹۵ و (ب) ۱۳۹۵-۹۶. در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

در سال دوم افزایش ماده آلی خاک به دلیل استفاده از کود دامی در مقایسه با کود شیمیایی نشان می‌دهد که افزایش کربن ناشی از کود دامی (جدول ۳-۳) می‌تواند در افزایش سطح کربن خاک نقش داشته باشد و قسمتی از کربن کود دامی می‌تواند به کربن آلی خاک تبدیل شده باشد (ادمیادس، ۲۰۰۳؛ سینجو و همکاران، ۲۰۰۸) و افزایش زیست توده ریشه (شکل ۴-۱۳) و کاه و کلش (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۲) که بقایای بیشتری را به خاک برگردانده است. بیوچار نیز احتمالاً به دلیل اینکه دارای محتوی

بالتری از کربن (جدول ۳-۴) است و قادر می‌باشد کربن آلی خاک را از استفاده شدن محافظت نماید،

منجر به افزایش ماده آلی خاک شده است (اویانگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ ونگ و همکاران، ۲۰۱۵).

تغییر ماده آلی خاک در کود شیمیایی + دامی می‌تواند مربوط به افزایش نهاده کربن از طریق افزایش زیست‌توده زیرزمینی باشد. بنابراین در پژوهش حاضر افزایش ماده آلی خاک در کود شیمیایی + دامی را می‌توان به افزایش زیست‌توده ریشه و ترشحات ریشه‌ای گیاه نسبت داد. همان‌گونه که قبلاً بیان شد در هر دو سال بیشترین تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی در کود شیمیایی + دامی به‌دست آمد (اشکال ۴-۱۳-الف و ۴-۱۳-ب).

در سایر پژوهش‌ها هم افزایش کربن آلی خاک در شرایط استفاده از کود دامی (زمانی باب‌گه‌ری و همکاران، ۱۳۸۹؛ کلیک و همکاران، ۲۰۰۴؛ بلیر و همکاران، ۲۰۰۶)، بیوچار (تاممورگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ ونگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ آگن‌هو و همکاران، ۲۰۱۵؛ آگن‌هو و همکاران، ۲۰۱۶) و کود شیمیایی + دامی (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۳a؛ ژنگ‌چاو و همکاران، ۲۰۱۳) گزارش شده است.

در هر دو سال کود شیمیایی و کود شیمیایی + بیوچار ماده آلی خاک را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش ندادند (شکل ۴-۲۲). عدم معنی‌داری کود شیمیایی بر کربن آلی خاک می‌تواند به‌دلیل تأثیر کود شیمیایی نیتروژن بر افزایش تجزیه پلی ساکاریدها و لیگنین‌ها (نف و همکاران، ۲۰۰۲) و نهاده کم کربن و تجزیه کربن آلی خاک (وو و همکاران، ۲۰۰۴) باشد. نف و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که علیرغم افزایش در تولید، غلظت کربن آلی خاک بین کرت‌های شاهد و کود شیمیایی تفاوتی نداشت. همچنین در یک آزمایش مزرعه‌ای هفت ساله، یانگ و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثر کودهای شیمیایی و کود دامی مشاهده کردند که کود دامی و کود شیمیایی + دامی به‌ترتیب باعث افزایش ۷۹ و ۲۲-۵۴ درصدی کربن آلی خاک نسبت به شاهد شدند و تفاوت معنی‌داری بین کود شیمیایی و شاهد وجود نداشت.

همان‌گونه که در شکل ۴-۲۲ مشاهده می‌شود ماده آلی خاک در سال دوم در مقایسه با سال اول افزایش یافت. علت افزایش ماده آلی خاک در سال دوم می‌تواند به دلیل اضافه کردن بقایای ذرت به خاک باشد. ریشه‌های گیاه از منابع عمده کربن محسوب می‌شوند و میزان کربن آلی خاک با افزایش زیست‌توده ریشه افزایش می‌یابد. نتایج مشابه توسط میرزاشاهی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش شده است. علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) نیز گزارش کردند که درصد کربن آلی خاک با افزایش مقادیر بقایا از صفر به ۱۰۰ درصد افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان کربن آلی خاک در تیمار ۱۰۰ درصد بقایا و خاکورزی کاهش‌یافته و کمترین میزان آن در تیمار بدون بقایا و خاکورزی رایج به‌دست آمد. ون گرواینگن و همکاران (۲۰۱۱) نیز مشاهده کردند که در خاکورزی سطحی و با برگرداندن بقایای گیاهی به خاک محتوی کربن آلی خاک افزایش یافت. افزایش کربن آلی خاک در شرایط استفاده از بقایای گیاهی ذرت توسط یانگ و همکاران (۲۰۱۵) هم گزارش شده است.

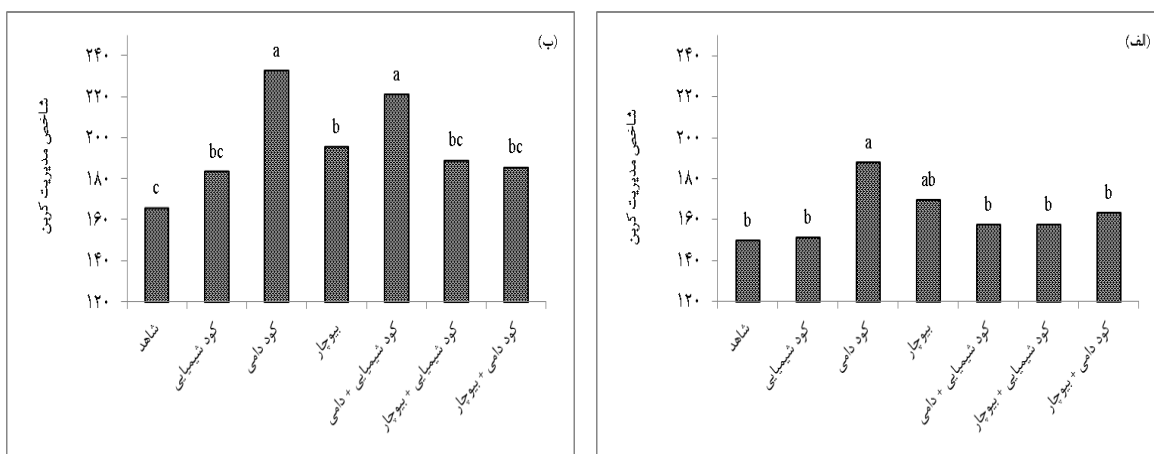
۴-۱۶- شاخص مدیریت کربن

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۴) در سال اول سیستم‌های خاکورزی بر شاخص مدیریت کربن در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری داشت. در سال دوم اثر سیستم‌های خاکورزی و همچنین در هر دو سال اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای معنی‌دار نبود. در سال اول شاخص مدیریت کربن در کم‌خاکورزی ۱۴/۴۷ درصد در مقایسه با خاکورزی مرسوم افزایش نشان داد (جدول ۴-۱۵). با افزایش شدت خاکورزی خاکدانه‌های خاک در معرض شکسته شدن قرار می‌گیرند و کربن آلی در معرض حمله میکروبی قرار می‌گیرد (سیکس و همکاران، ۲۰۰۰). بنابراین می‌توان بیان کرد با توجه به اینکه شاخص مدیریت کربن از حاصلضرب دو شاخص ذخیره کربن و شاخص ناپایداری کربن محاسبه می‌شود و کربن ناپایدار سهمی از کربن آلی خاک می‌باشد، افزایش شاخص مدیریت کربن در کم‌خاکورزی نسبت به خاکورزی مرسوم با توجه به بالا بودن میزان کربن آلی خاک دور

از انتظار نمی‌باشد. در سایر پژوهش‌ها هم افزایش کربن آلی خاک (کاسترمن و همکاران، ۲۰۱۳) و کربن ناپایدار (چن و همکاران، ۲۰۰۹؛ آوال و همکاران، ۲۰۱۳) در کم‌خاکورزی در مقایسه با خاکورزی مرسوم گزارش شده است.

در سال اول و دوم مدیریت تغذیه‌ای به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد بر شاخص مدیریت کربن مؤثر بود (جدول ۴-۱۴). در سال اول بیشترین شاخص مدیریت کربن در کود دامی و بیوچار به‌دست آمد. کود دامی و بیوچار شاخص مدیریت کربن را $25/38$ و $13/16$ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین شاخص مدیریت کربن خاک نیز در شاهد، کود شیمیایی، بیوچار، کود شیمیایی + دامی، کود شیمیایی + بیوچار و کود دامی + بیوچار مشاهده شد (شکل ۴-۲۳-الف).

در سال دوم نیز بیشترین شاخص مدیریت کربن در کود دامی و کود دامی + شیمیایی مشاهده شد. کود دامی و کود شیمیایی + دامی به‌ترتیب باعث افزایش $40/38$ و $33/35$ درصدی شاخص مدیریت کربن نسبت به شاهد شدند که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین شاخص مدیریت کربن خاک نیز مربوط به شاهد، کود شیمیایی، کود شیمیایی + بیوچار و کود دامی + بیوچار بود (شکل ۴-۲۳-ب).



شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر شاخص مدیریت کربن در دو سال زراعی (الف) ۹۵-۱۳۹۴ و (ب) ۹۶-۱۳۹۵.

در هر شکل، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

محققین زیادی افزایش کربن آلی خاک و کربن ناپایدار را در شرایط کاربرد کود دامی (بلیر و همکاران،

۲۰۰۶) و کود شیمیایی + دامی (رادراپا و همکاران، ۲۰۰۶؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۲) گزارش کرده‌اند.

تجزیه کود دامی و بقایای گیاهی در اثر اضافه شدن کود شیمیایی منجر به تشکیل ترکیبات کربنی

ناپایدار در خاک می‌شود (بلیر و همکاران، ۲۰۰۶) و در هر دو سال بیشترین زیست‌توده ریشه در کود

شیمیایی + دامی به‌دست آمد (شکل ۴-۱۳) و گزارش شده است که ریشه‌ها ترکیباتی ترشح می‌کنند که

کربن آن‌ها ناپایدار می‌باشد (کونته و همکاران، ۱۹۹۷). همچنین استفاده از کود دامی و افزایش تولید

زیست‌توده ریشه می‌تواند از دلایل افزایش کربن ناپایدار باشد (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین افزایش

شاخص مدیریت کربن در کود شیمیایی + دامی در سال دوم می‌تواند به‌دلیل بالاتر بودن کربن ناپایدار در

بقایای گیاهی و کود دامی و کربن آلی خاک در این تیمار (شکل ۴-۲۲-ب) باشد. رادراپا و همکاران

(۲۰۰۶) مشاهده کردند که کربن ناپایدار در کود شیمیایی + دامی به‌دلیل اینکه بقایای ریشه و کود دامی

خود منبعی از کربن ناپایدار می‌باشند در بالاترین مقدار به‌دست آمد.

لو و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که کود دامی و کود شیمیایی + دامی به طور معنی داری شاخص مدیریت کربن را افزایش دادند. افزایش نهاده کربن و تغییر در کیفیت ماده آلی می تواند از علل افزایش شاخص مدیریت کربن باشد (تیروول پادر و لاده، ۲۰۰۴). بلیر و همکاران (۲۰۰۶) هم در یک بررسی طولانی مدت مشاهده کردند که کود دامی و استفاده توأم از کود دامی به همراه کود شیمیایی شاخص مدیریت کربن را در مقایسه با شاهد افزایش داد. همچنین نتایج بررسی های گانگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان داد که هیجده سال اضافه کردن کود آلی به خاک (به تنهایی یا همراه کود شیمیایی) در سیستم کاشت گندم - ذرت در مقایسه با کود شیمیایی در افزایش شاخص مدیریت کربن خاک مؤثر بود.

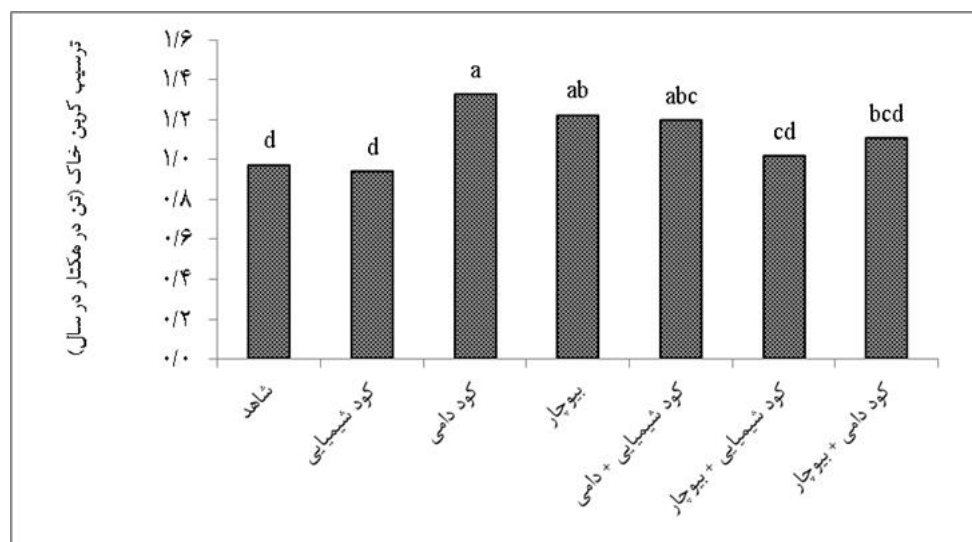
۴-۱۷- ترسیب کربن خاک

مطابق نتایج جدول ۴-۱۴ ترسیب کربن خاک به طور معنی داری تحت تأثیر سیستم های خاکورزی و اثر متقابل سیستم های خاکورزی و مدیریت تغذیه ای قرار نگرفت.

با وجود عدم تفاوت معنی دار، ترسیب کربن خاک در کم خاکورزی در مقایسه با خاکورزی مرسوم ۱۰/۵۳ درصد افزایش یافت (جدول ۴-۱۵). ترسیب بیشتر کربن خاک در سیستم های کم خاکورزی عمدتاً ناشی از کاهش تجزیه کربن آلی به دلیل کاهش شرایط هوازی و نیز حفاظت فیزیکی بهتر کربن آلی خاک درون خاکدانه ها می باشد (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۴). خاکورزی شدید باعث شکسته شدن خاکدانه های خاک می شود (سیکس و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین انجام خاکورزی سبب می شود که لایه سطحی خاک در معرض فرآیندهای منجمد - آب شدن و خشک - مرطوب شدن قرار گیرد که باعث تشدید شکسته شدن خاکدانه های بزرگ می شود (سیکس و همکاران، ۲۰۰۴). کاسترمن و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که بیشترین و کمترین ذخایر کربن آلی خاک به ترتیب در کم خاکورزی و خاکورزی مرسوم به دست آمد. در پژوهش دیگری بعد از ۴۳ سال کاشت مداوم ذرت، ذخیره کربن آلی در عمق ۳۰ سانتی متری خاک در بی خاکورزی ($80 \pm 3/7$ مگاگرم کربن در هکتار) در مقایسه با چیزل ($45/3 \pm 1/7$ مگاگرم کربن

در هکتار) و گاواهن برگرداندار ($44/8 \pm 3/7$ مگاگرم کربن در هکتار) به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (یوسیری و لال، ۲۰۰۹). آن‌ها گزارش کردند که سهم زیادی از کربن آلی خاک (۶۸-۷۴ درصد) در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک ناشی از بقایای ذرت بود، به‌طور متوسط گاواهن برگرداندار، چيزل و بی‌خاکورزی به‌ترتیب ۰/۷۳، ۰/۷۱ و ۱/۳۷ مگاگرم کربن را در هکتار در هر سال ترسیب کردند.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مدیریت تغذیه‌ای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر ترسیب کربن خاک داشت (جدول ۴-۱۴). بیشترین ترسیب کربن خاک در کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی به‌دست آمد. کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی ترسیب کربن خاک را ۳۶/۸۰، ۲۵/۷۷ و ۲۲/۹۹ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین ترسیب کربن خاک نیز مربوط به شاهد، کود شیمیایی، کود شیمیایی + بیوچار و کود دامی + بیوچار بود (شکل ۴-۲۴).



شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر ترسیب کربن خاک در مدت ۹۶-۱۳۹۴. میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

احتمالاً افزایش ترسیب کربن خاک در کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی در مقایسه با سایر تیمارها مربوط به اثر کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی بر افزایش کربن آلی خاک (شکل ۴-۲۲-۲۲).

ب)، افزایش رشد ریشه (شکل ۴-۱۳) و برگرداندن بقایای گیاهی به خاک باشد. ریشه گیاهان هم به عنوان منبعی از ورود کربن به خاک می باشند. بنابراین به نظر می رسد ریشه های گیاه در تیمارهای کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی مقدار زیادی ماده آلی را به خاک اضافه نموده و باعث تغییر در وضعیت کربن آلی خاک شده اند.

ژنگ و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که برگرداندن بقایای گیاهی به خاک باعث افزایش ذخیره کربن آلی خاک شد. در بررسی اثرات طولانی مدت کودهای شیمیایی و دامی بر ترسیب کربن خاک تحت سیستم کاشت گندم - گندم - ذرت در چین، سو و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که میزان ترسیب کربن خاک در تیمار کود دامی ۰/۴۲ - ۰/۱۶ مگاگرم در هکتار در سال به دست آمد که میانگین آن ۰/۲۶ مگاگرم در هکتار در سال بود. گو و همکاران (۲۰۱۶) نیز مشاهده کردند که بیشترین میزان ذخیره و ترسیب کربن در تیمار کمپوست کود گاوی به دست آمد و بین کود شیمیایی و شاهد اختلاف معنی داری وجود نداشت، البته ذخیره و ترسیب کربن، اندکی در کود شیمیایی بالاتر بود. در پژوهش دیگری خرم دل و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که سیستم های کم نهاده با مصرف کود دامی (۴/۱ تن در هکتار) و پرنهاده (۰/۱ تن در هکتار) به ترتیب بیشترین و کمترین میزان ترسیب کربن در خاک را به خود اختصاص دادند.

در مورد بیوچار نیز افزایش ذخیره کربن توسط بورچارد و همکاران (۲۰۱۴) گزارش شده است. نتایج پژوهش های کیو و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دهنده این بود که بالاترین ترسیب کربن آلی در تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی و دامی به دست آمد و ترسیب کربن در کود شیمیایی کمتر از شاهد بود. لیو و همکاران (۲۰۱۳a) هم در بررسی اثرات طولانی مدت کود دامی و شیمیایی بر ذخایر کربن آلی خاک گزارش کردند که تیمارهای کود شیمیایی + دامی، کود شیمیایی + بقایای گندم و ذرت، کود دامی و کود

شیمیایی به ترتیب باعث افزایش ۴۱/۳، ۳۲/۹، ۲۸/۱ و ۱۷/۹ درصدی ذخایر کربن آلی خاک نسبت به شاهد شدند.

در مورد اثرات منفی کود شیمیایی بر ترسیب کربن، هالورسون و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که کود نیتروژن، اگرچه از نظر تأثیر بر رشد و تحریک گیاه، میزان برگرداندن بقایا به خاک را افزایش داد اما باعث افزایش ترسیب کربن نشد.

۴-۱۸- نتیجه گیری کلی

به طور کلی نتایج نشان داد که در هر دو سال مدیریت تغذیه‌ای اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های بلال، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، جذب نیتروژن و فسفر دانه و تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی و زیرزمینی ذرت داشت. در سال اول بیشترین عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی در کود شیمیایی، کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار به دست آمد. کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار به ترتیب عملکرد بیولوژیک (۴۷/۰۴ و ۴۲/۶۹ درصد)، عملکرد دانه (۶۰/۴۱ و ۵۶/۳۲ درصد) و تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی (۴۷/۰۴ و ۴۲/۶۹ درصد) را نسبت به شاهد افزایش دادند که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی نداشتند.

در سال دوم نیز بین کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کود شیمیایی + دامی عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی را به ترتیب ۴۷/۰۵، ۵۱/۴۳ و ۴۷/۰۵ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. همچنین در سال اول بیشترین تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی در کود شیمیایی، کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی به دست آمد. تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی در کود دامی و بیوچار به ترتیب ۵۴/۹۱ و ۵۳/۲۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت که از نظر آماری با کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی اختلاف معنی‌داری نداشتند. در سال دوم

نیز بیشترین تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی مربوط به کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار بود.

بر اساس نتایج به‌دست آمده در سال اول کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار جذب نیتروژن دانه را به‌ترتیب $83/95$ و $81/38$ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی نداشتند. در سال دوم نیز بیشترین جذب نیتروژن دانه مربوط به کود شیمیایی بود. در مورد جذب فسفر دانه در سال اول بیشترین مقدار مربوط به کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی بود. در سال دوم نیز بیشترین جذب فسفر دانه به کود شیمیایی تعلق داشت.

در خصوصیات خاک مورد بررسی، نتایج نشان‌دهنده این بود که رطوبت وزنی، تنفس پایه، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و ماده آلی خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای قرار گرفتند. همچنین سیستم‌های خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر تنفس پایه خاک داشتند.

در سال اول و دوم کم‌خاک‌ورزی تنفس پایه را به‌ترتیب $61/76$ و $55/47$ درصد نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش داد. نتایج مقایسه میانگین مدیریت تغذیه‌ای نیز بیانگر آن بود که در سال اول بیشترین تنفس پایه خاک در کود دامی، بیوچار و کود دامی + بیوچار به‌دست آمد. در مورد ماده آلی خاک در سال اول کود دامی، بیوچار و کود دامی + بیوچار به‌طور معنی‌داری باعث افزایش $23/11$ ، $21/43$ و $23/70$ درصدی ماده آلی خاک نسبت به شاهد شدند. همچنین در سال دوم نیز کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی ماده آلی خاک را به‌ترتیب $28/31$ ، $19/52$ و $17/06$ درصد در مقایسه با شاهد افزایش دادند که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند.

شاخص مدیریت کربن نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای قرار گرفت. در سال اول بیشترین شاخص مدیریت کربن در کود دامی و بیوچار مشاهده شد. کود دامی و بیوچار باعث افزایش $25/38$ و $13/16$ درصدی شاخص مدیریت کربن نسبت به شاهد شدند که اختلاف معنی‌داری با هم

نداشتند. در سال دوم نیز در کود دامی و کود شیمیایی + دامی به ترتیب افزایش ۴۰/۳۸ و ۳۳/۳۵ درصدی شاخص مدیریت کربن نسبت به شاهد مشاهده شد. از دیگر صفات مورد بررسی، ترسیب کربن خاک است که مدیریت تغذیه‌ای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر ترسیب کربن خاک داشت. بیشترین میزان ترسیب کربن خاک در کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی به دست آمد. کود دامی، بیوچار و کود شیمیایی + دامی باعث افزایش ۳۶/۸۰، ۲۵/۷۷ و ۲۲/۹۹ درصدی ترسیب کربن خاک در مقایسه با شاهد شدند که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند.

سیستم‌های خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری نداشتند. همچنین در سال دوم کود شیمیایی + بیوچار عملکردی مشابه کود شیمیایی و کود شیمیایی + دامی نداشت. در نهایت با توجه به قرارگیری سیستم‌های خاکورزی در یک سطح آماری، می‌توان چنین بیان کرد که با استفاده از کم‌خاکورزی به همراه مصرف تلفیقی کود شیمیایی + دامی ضمن افزایش عملکرد ذرت، سایر صفات را نیز افزایش داد. از طرف دیگر با کاربرد کود دامی به همراه مقادیر کمتر کود شیمیایی باعث کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شد. بنابراین علاوه بر بهبود رشد و عملکرد موجب افزایش ترسیب کربن در زراعت گیاه ذرت نیز شد.

۴-۱۹- پیشنهادها

- بررسی بلند مدت اثر سیستم‌های مختلف خاکورزی بر ترسیب کربن خاک در زراعت گیاه ذرت
- مطالعه اثر سیستم‌های بی‌خاکورزی و بررسی تأثیر آن بر عملکرد ذرت، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و ترسیب کربن خاک
- بررسی اثر مقادیر مختلف کود دامی و بیوچار بر عملکرد ذرت

- بررسی اثر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

خاک

- بررسی میزان ترسیب کربن در اعماق مختلف خاک تحت تاثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت

تغذیه‌ای

جدول ۴-۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ارتفاع و ویژگی‌های بلال ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع		طول بلال		قطر بلال		تعداد ردیف در بلال		تعداد دانه در ردیف بلال	
		۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶
تکرار	۲	۷۷/۵۰ ^{ns}	۱۰۲/۵۷ ^{ns}	۲/۰۰ ^{ns}	۰/۵۱ ^{ns}	۰/۸۸ ^{ns}	۹/۹۸ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۵۰/۲۹ ^{ns}	۷/۴۵ ^{ns}
خاکورزی (A)	۱	۱۴۰/۱۸ ^{ns}	۲۰۷/۰۴ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۷/۴۶ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۶/۸۱ ^{ns}	۶/۰۹ ^{ns}	۱/۹۳ ^{ns}	۸۹/۰۹ ^{ns}	۱۲/۵۹ ^{ns}
خطای اصلی	۲	۷۰/۱۲	۴۷/۹۵	۰/۷۱	۰/۴۸	۱/۶۲	۵/۱۶	۱/۲۴	۰/۵۰	۱۳/۷۶	۱۵/۷۲
مدیریت تغذیه‌ای (B)	۶	۱۰۱/۰۶ ^{**}	۳۷۸/۱۹ ^{**}	۱۴/۹۲ ^{**}	۲۰/۷۹ ^{**}	۳۷/۳۰ ^{**}	۱۹/۱۷ ^{**}	۲/۲۱ [*]	۳/۲۸ ^{**}	۱۰۸/۸۶ ^{**}	۱۶۲/۷۹ ^{**}
A×B	۶	۴۴/۵۴ ^{ns}	۳۰/۲۰ ^{ns}	۱/۳۹ ^{ns}	۰/۶۴ ^{ns}	۱/۵۳ ^{ns}	۲/۷۳ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۵/۳۱ ^{ns}	۱۶/۲۶ ^{ns}
خطای فرعی	۲۴	۲۱/۰۸	۴۷/۹۵	۰/۵۹	۰/۹۶	۰/۶۵	۲/۳۷	۰/۶۳	۰/۴۰	۸/۴۲	۱۰/۴۷
ضریب تغییرات (%)		۲/۷۴	۳/۹۰	۵/۱۴	۶/۰۸	۱/۸۸	۳/۴۷	۵/۵۸	۴/۳۴	۷/۹۸	۸/۱۵

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

جدول ۴-۲- میانگین ارتفاع و ویژگی‌های بلال ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

خاکورزی	ارتفاع (سانتی‌متر)		طول بلال (سانتی‌متر)		قطر بلال (میلی‌متر)		تعداد ردیف در بلال		تعداد دانه در ردیف بلال	
	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶
خاکورزی مرسوم	۱۶۹/۲۲	۱۷۹/۸۳	۱۴/۸۹	۱۶/۵۵	۴۲/۸۸	۴۴/۷۷	۱۴/۵۹	۱۴/۲۸	۳۷/۸۲	۴۰/۲۶
کم خاکورزی	۱۶۵/۵۷	۱۷۵/۳۹	۱۴/۹۷	۱۵/۷۰	۴۲/۸۶	۴۳/۹۶	۱۳/۸۳	۱۴/۷۱	۳۴/۹۱	۳۹/۱۷

جدول ۳-۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن صد دانه		عملکرد بیولوژیک		عملکرد دانه		شاخص برداشت	
		۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵
تکرار	۲	۵/۴۸ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	۱۳۶۵۳۱۳۰/۷۰ ^{ns}	۴۸۶۱۱۰۲/۱۷ ^{ns}	۴۱۸۴۱۶۴/۰۹ ^{ns}	۴۳۷۱۵۵/۵۴ ^{ns}	۰/۸۵ ^{ns}	۲۶/۴۸ ^{ns}
خاکورزی (A)	۱	۳۶/۰۳ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۷۷۸۵۶۰۱/۲۱ ^{ns}	۱۳۲۳۷۹۲۴/۲۹ ^{ns}	۱۳۵۵۴۰۸/۹۵ ^{ns}	۱۴۴۱۴۴/۲۹ ^{ns}	۳/۵۵ ^{ns}	۸۱/۲۳ ^{ns}
خطای اصلی	۲	۶/۰۷	۱/۷۲	۱۵۶۸۲۴۷/۶	۳۱۰۱۸۷۲/۷	۳۴۶۳۵۳/۵	۱۷۰۶۴۷۹/۵۴	۲/۲۷	۱۴/۹۱
مدیریت تغذیه‌ای (B)	۶	۳۷/۳۹ ^{**}	۱۶/۴۹ ^{**}	۳۸۱۷۰۵۲۱/۱ ^{**}	۴۳۵۹۹۳۰۹/۴ ^{**}	۱۹۳۴۱۷۵۸ ^{**}	۱۳۳۹۰۱۰۳/۳۲ ^{**}	۶۲/۶۹ ^{**}	۱۴/۳۷ [*]
A×B	۶	۱/۴۳ ^{ns}	۱/۸۲ ^{ns}	۲۷۴۹۵۹۵/۰ ^{ns}	۲۷۱۶۶۴۵/۰ ^{ns}	۸۰۹۱۸۰/۷ ^{ns}	۵۰۹۷۱۱/۵۱ ^{ns}	۳/۴۷ ^{ns}	۱/۹۰ ^{ns}
خطای فرعی	۲۴	۴/۵۴	۱/۱۱	۱۶۳۹۲۴۴/۷	۲۴۰۸۷۴۴/۶	۷۱۷۹۱۱/۹	۹۴۹۱۱۸/۵	۵/۶۰	۴/۸۳
ضریب تغییرات (/.)		۹/۱۹	۴/۴۱	۸/۹۰	۹/۴۲	۱۱/۱۲	۱۱/۴۲	۴/۵۱	۴/۲۵

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

جدول ۴-۴- میانگین وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

خاکورزی	وزن صد دانه (گرم)		عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		شاخص برداشت (درصد)	
	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵
خاکورزی مرسوم	۲۴/۱۳	۲۳/۸۵	۱۴۸۲۱/۸	۱۷۰۳۶	۷۷۹۶/۴	۸۵۸۶	۵۲/۱۵	۵۰/۳۳
کم‌خاکورزی	۲۲/۲۸	۲۳/۹۶	۱۳۹۶۰/۷	۱۵۹۱۳/۲	۷۴۳۷/۱	۸۴۶۸/۸	۵۲/۷۳	۵۳/۱۱

جدول ۴-۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) جذب عناصر غذایی دانه، تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی و زیرزمینی ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

منابع تغییر	درجه آزادی	جذب نیتروژن دانه		جذب فسفر دانه		تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی		تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی	
		۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶
تکرار	۲	۲۰۰۲/۶۳*	۸۹۸/۰۴ ^{ns}	۱/۰۵ ^{ns}	۱۷/۴۰ ^{ns}	۲۷۶۴۶/۲۴ ^{ns}	۹۸۴۲/۸۳ ^{ns}	۷۰۶/۵۶ ^{ns}	۲۷۶/۵۵ ^{ns}
خاکورزی (A)	۱	۳۲۵/۶۵ ^{ns}	۲۸/۲۷ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۲/۵۱ ^{ns}	۱۵۷۶۵/۶۳ ^{ns}	۲۶۸۰۶/۹۲ ^{ns}	۲۱۶۶/۶۴ ^{ns}	۱۵۲۵/۵۹ ^{ns}
خطای اصلی	۲	۴۵/۲۴	۱۷۱/۰۲	۰/۲۹	۶/۱۶	۳۱۷۵/۷۱	۶۲۸۱/۲۲	۲۱۱/۳۸	۶۹۸/۲۳
مدیریت تغذیه‌ای (B)	۶	۴۴۳۳/۸۱**	۴۹۱۹/۳۷**	۱۹/۰۵**	۳۸/۴۶**	۷۷۲۹۵/۸۶**	۸۸۲۸۸/۳۶**	۳۳۵۸/۰۸**	۷۳۱۸/۲۵**
A×B	۶	۱۳۰/۹۲ ^{ns}	۱۱۴/۲۰ ^{ns}	۰/۶۴ ^{ns}	۱/۶۴ ^{ns}	۵۵۶۸/۰۷ ^{ns}	۵۵۰۱/۳۰ ^{ns}	۹۳۱/۲۶ ^{ns}	۱۹۸/۵۷ ^{ns}
خطای فرعی	۲۴	۱۸۵/۲۲	۲۰۷/۵۵	۰/۷۴	۱/۸۷	۳۳۱۹/۴۹	۴۸۷۷/۹۰	۴۴۱/۵۷	۴۶۳/۳۴
ضریب تغییرات (/.)		۱۴/۸۸	۱۳/۳۴	۱۳/۰۱	۱۲/۴۹	۸/۹۰	۹/۴۲	۱۷/۴۰	۱۳/۸۱

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

جدول ۴-۶- میانگین جذب عناصر غذایی دانه، تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی و زیرزمینی ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

خاکورزی	جذب نیتروژن دانه (کیلوگرم در هکتار)		جذب فسفر دانه (کیلوگرم در هکتار)		تولید اولیه خالص اندام‌های هوایی (گرم کربن در مترمربع در فصل زراعی)		تولید اولیه خالص اندام‌های زیرزمینی (گرم کربن در مترمربع در فصل زراعی)	
	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶
خاکورزی مرسوم	۹۴/۲۱	۱۰۸/۸۳	۶/۵۲	۱۰/۷۱	۶۶۶/۹۸	۷۶۶/۶۲	۱۲۷/۹۵	۱۶۱/۸۴
کم‌خاکورزی	۸۸/۶۴	۱۰۷/۱۹	۶/۷۰	۱۱/۲۰	۶۲۸/۲۳	۷۱۶/۰۹	۱۱۳/۵۹	۱۴۹/۷۹

جدول ۴-۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی و ریشه ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

منابع تغییر	درجه آزادی	نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی		نسبت کربن به نیتروژن ریشه	
		۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶
تکرار	۲	۴۴/۷۵ ^{ns}	۵۰۴/۲۸ ^{ns}	۱۱۰/۵۸ ^{ns}	۷۲۳/۳۲ *
خاکورزی (A)	۱	۲۳۱/۶۲ ^{ns}	۷۴/۵۱ ^{ns}	۳۵/۶۲ ^{ns}	۵۰/۲۳ ^{ns}
خطای اصلی	۲	۱۶۶/۷۵	۱۱۱/۶۳	۱۱۵/۷۶	۲۴/۲۶
مدیریت تغذیه‌ای (B)	۶	۲۵۵/۰۴ *	۴۳۵/۲۷ **	۳۱۲/۳۹ ^{ns}	۴۰۷/۷۰ ^{ns}
A×B	۶	۱۹۸/۷۹ ^{ns}	۶۹/۳۹ ^{ns}	۳۱۷/۲۹ ^{ns}	۲۸۳/۹۸ ^{ns}
خطای فرعی	۲۴	۸۴/۴۱	۹۶/۰۳	۱۷۰/۴۹	۱۹۹/۰۹
ضریب تغییرات (/.)		۱۱/۵۸	۱۵/۰۴	۱۱/۳۶	۱۴/۶۶

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

جدول ۴-۸- میانگین نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی و ریشه ذرت تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

خاکورزی	نسبت کربن به نیتروژن اندام‌های هوایی		نسبت کربن به نیتروژن ریشه	
	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶
خاکورزی مرسوم	۷۶/۹۸	۶۳/۸۱	۱۱۴/۰۱	۹۷/۳۴
کم‌خاکورزی	۸۱/۶۸	۶۶/۴۷	۱۱۵/۸۵	۹۵/۱۵

جدول ۴-۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) pH، رطوبت وزنی خاک، تنفس پایه خاک و تنفس پایه خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

منابع تغییر	درجه آزادی	pH		رطوبت وزنی خاک		تنفس پایه خاک		تنفس پایه خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی	
		۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶
تکرار	۲	۰/۰۷۳ ^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}	۱/۰۷ ^{ns}	۳/۴۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۲۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}
خاکورزی (A)	۱	۰/۲۲۹ ^{ns}	۰/۰۴۹ ^{ns}	۳/۹۳ ^{ns}	۸/۱۵ ^{ns}	۰/۰۴۱۴ ^{**}	۰/۰۵۲۵ ^{**}	۰/۰۶۰۴ [*]	۰/۰۲۴۰ ^{**}
خطای اصلی	۲	۰/۰۱۸	۰/۰۰۷	۲/۰۵	۳/۲۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۲
مدیریت تغذیه‌ای (B)	۶	۰/۰۲۱ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۹/۵۹ ^{**}	۱۰/۶۸ ^{**}	۰/۰۰۳۵ ^{**}	۰/۰۰۴۶ ^{**}	۰/۰۰۷۲ ^{**}	۰/۰۰۴۵ ^{**}
A×B	۶	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۸۳ ^{ns}	۲/۳۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۲۱ [*]	۰/۰۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۱۲ ^{ns}
خطای فرعی	۲۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	۰/۹۳	۱/۳۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۶
ضریب تغییرات (/.)		۱/۲۸	۰/۷۷	۵/۷۳	۷/۰۵	۱۵/۲۳	۱۵/۷۳	۱۶/۳۸	۱۱/۳۴

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

جدول ۴-۱۰- مقایسه میانگین pH، رطوبت وزنی خاک، تنفس پایه خاک و تنفس پایه خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

خاکورزی	pH		رطوبت وزنی خاک (درصد)		تنفس پایه خاک (میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز)		تنفس پایه خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی (میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز)	
	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶
خاکورزی مرسوم	۸/۳۵	۸/۲۸	۱۶/۵۶	۱۶/۰۴	۰/۱۰۲b	۰/۱۲۸b	۰/۱۸۲b	۰/۱۹۹b
کم خاکورزی	۸/۵۰	۸/۳۵	۱۷/۱۷	۱۶/۹۲	۰/۱۶۵a	۰/۱۹۹a	۰/۲۵۸a	۰/۲۴۷a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۴-۱۱- مقایسه میانگین pH تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای
در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

pH		مدیریت تغذیه‌ای
۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	
۸/۲۶c	۸/۳۲b	شاهد
۸/۳۳abc	۸/۴۵a	کود شیمیایی
۸/۲۸bc	۸/۴۵ab	کود دامی
۸/۳۷a	۸/۴۶a	بیوچار
۸/۳۴ab	۸/۳۸ab	کود شیمیایی + دامی
۸/۳۳abc	۸/۴۰ab	کود شیمیایی + بیوچار
۸/۳۲abc	۸/۵۰a	کود دامی + بیوچار

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک اختلاف معنی‌داری
بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۴-۱۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نیتروژن کل خاک، نیتروژن کل خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی و فسفر قابل جذب خاک تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

منابع تغییر	درجه آزادی	نیتروژن کل خاک		نیتروژن کل خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی		فسفر قابل جذب خاک	
		۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶
تکرار	۲	۰/۰۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۸ ^{ns}	۹/۷۱ ^{ns}	۱۳/۰۹ ^{ns}
خاکورزی (A)	۱	۰/۰۰۰۷۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۴۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۴۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۶ ^{ns}	۱۲/۹۷ ^{ns}	۶/۶۴ ^{ns}
خطای اصلی	۲	۰/۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۷	۳/۶۴	۲/۴۲
مدیریت تغذیه‌ای (B)	۶	۰/۰۰۰۲۱ ^{**}	۰/۰۰۰۲۷ ^{**}	۰/۰۰۰۲۲ ^{**}	۰/۰۰۰۲۵ ^{**}	۶۲/۴۳ ^{**}	۲۱۹/۸۱ ^{**}
A×B	۶	۰/۰۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۶ ^{ns}	۱/۵۲ ^{ns}	۲/۴۶ ^{ns}
خطای فرعی	۲۴	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۵	۲/۳۴	۱/۴۶
ضریب تغییرات (/.)		۹/۸۱	۱۱/۳۱	۹/۴۳	۷/۴۹	۱۶/۸۳	۱۰/۰۳

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

جدول ۴-۱۳- میانگین نیتروژن کل خاک، نیتروژن کل خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی و فسفر قابل جذب خاک تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

خاکورزی	نیتروژن کل خاک (درصد)		نیتروژن کل خاک بعد از برگرداندن بقایای گیاهی (درصد)		فسفر قابل جذب خاک (میلی گرم بر کیلوگرم خاک)	
	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶
خاکورزی مرسوم	۰/۰۶۲	۰/۰۷۸	۰/۰۶۲	۰/۰۹۵	۸/۵۴	۱۱/۶۵
کم خاکورزی	۰/۰۵۳	۰/۰۷۲	۰/۰۵۶	۰/۰۹۳	۹/۶۵	۱۲/۴۴

جدول ۴-۱۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ماده آلی، شاخص مدیریت کربن و ترسیب کربن خاک تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و مدیریت تغذیه ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

منابع تغییر	درجه آزادی	ماده آلی خاک					شاخص مدیریت کربن		ترسیب کربن
		۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۴-۹۶
تکرار	۲	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۲۴۲۷/۹۰ ^{ns}	۹۳۵/۴۳ ^{ns}	۰/۰۴۸ ^{ns}			
خاکورزی (A)	۱	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۵۰۳۶/۷۸ *	۱۴۱۴/۱۶ ^{ns}	۰/۱۲۹ ^{ns}			
خطای اصلی	۲	۰/۰۴	۰/۰۱	۱۹۴/۰۰	۲۹۱/۴۰	۰/۰۴۵			
مدیریت تغذیه‌ای (B)	۶	۰/۰۵ *	۰/۱۱ **	۱۰۲۵/۸۷ *	۳۲۱۷/۵۲ **	۰/۱۲۵ **			
A×B	۶	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۴۹۴/۲۹ ^{ns}	۸۹۷/۶۶ ^{ns}	۰/۰۴۱ ^{ns}			
خطای فرعی	۲۴	۰/۰۲	۰/۰۳	۳۹۲/۰۲	۴۵۹/۶۲	۰/۰۲۸			
ضریب تغییرات (/.)		۱۲/۵۷	۱۱/۴۱	۱۲/۲۰	۱۰/۹۳	۱۵/۱۷			

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

جدول ۴-۱۵- مقایسه میانگین ماده آلی، شاخص مدیریت کربن و ترسیب کربن خاک تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶

خاکورزی	ماده آلی خاک (درصد)					ترسیب کربن (تن در هکتار در سال)
	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	
خاکورزی مرسوم	۱/۰۶۸	۱/۴۳۶	۱۵۱/۲۹b	۱۹۰/۴۱	۱/۰۵۴	
کم‌خاکورزی	۱/۲۴۴	۱/۵۶۷	۱۷۳/۱۹a	۲۰۲/۰۱	۱/۱۶۵	

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

منابع

۱. افضل‌گروه ه. آسودار م. ا. و خدارحم‌پور ز، (۱۳۹۱) "تأثیر روش آبیاری و سطوح خاکورزی بر کارایی مصرف آب و عملکرد ذرت در کرمان" **نشریه دانش آب و خاک**، جلد ۲۲، شماره ۳: ص ۴۷-۵۸.
۲. امامی ع، (۱۳۷۵) "**روش‌های تجزیه گیاه**" جلد اول، نشریه فنی شماره ۹۸۲، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران، ۱۲۸ صفحه.
۳. امیرآبادی م. سیفی م. رجالی ف. و اردکانی م. ر، (۱۳۹۱) "بررسی غلظت عناصر معدنی پرمصرف در ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) (رقم سینگل کراس ۷۰۴) تحت تأثیر تلقیح قارچ میکوریزی و *Azotobacter chroococcum* در سطوح مختلف نیتروژن" **نشریه بوم‌شناسی کشاورزی**، جلد ۴، شماره ۱: ص ۳۳-۴۰.
۴. باقری ر. اکبری غ. ع. کیانمهر م. ح. و طهماسبی سروستانی ز، (۱۳۹۱) "تأثیر کود پلت شده دامی و اوره روی کارایی نیتروژن و خصوصیات مرفولوژیک در ذرت" **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک**، سال ۱۶، شماره ۵۹: ص ۱۹۹-۲۱۳.
۵. برومند رضازاده ز، (۱۳۹۲)، رساله دکتری: "ارزیابی میزان ترسیب کربن در بوم‌نظام‌های زراعی ایران با استفاده از مدل‌های تجربی"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۶. بلور ا. عسگری ح. ر. و کیانی ف، (۱۳۹۳) "بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی بر عناصر مغذی خاک (مطالعه موردی: برخی از اراضی کشاورزی شهرستان کلاله - استان گلستان)" **نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار**، جلد ۴، شماره ۴: ص ۳۵۵-۳۶۰.
۷. حامدی ف. و پرویزی ی، (۱۳۹۵) "ارزیابی تأثیر بلند مدت روش‌های مختلف مدیریت خاکورزی و تناوب زراعی بر ذخایر کربن آلی خاک" **نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)**، جلد ۳۰، شماره ۳: ص ۲۷۱-۲۸۰.

۸. حسینی م. موحدی نائینی س. ع. ر. و زراعت پیشه م، (۱۳۹۳) "اثر تخلخل، رطوبت حجمی و دمای

خاک بر جذب رطوبت و عملکرد ماده خشک گیاه در روش‌های مختلف خاکورزی" **مجله علوم و**

فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۸، شماره ۶۸: ص ۱۴۵-۱۳۳.

۹. حیدرپور ن. قاسمی‌مبتکر ح. و توشیح و، (۱۳۹۴) "اثر روش‌های مختلف خاکورزی بر برخی

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم دیم در تناوب گندم - آیش استان کردستان"

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد پنجم، شماره چهارم: ص ۷۷-۶۱.

۱۰. حیدری ف. رسول‌زاده ع. سپاسخواه ع. ر. اصغری ع. و قویدل ا، (۱۳۹۲) "اثر مدیریت بقایای گیاهی

بر ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیکی خاک و عملکرد ذرت علوفه‌ای و جو" **مجله علوم و فنون**

کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۷، شماره ۶۵: ص ۲۴۸-۲۳۳.

۱۱. خادم ا. گلچین ا. شفیعی س. و زارع ا، (۱۳۹۳) "تأثیر کودهای دامی و گوگرد بر میزان جذب عناصر

غذایی توسط ذرت (*Zea mays* L.) **نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی)**، شماره ۱۰۳: ص ۱۱-

۲.

۱۲. خرم‌دل س. کوچکی ع. ر. نصیری محلاتی م. و خراسانی ر، (۱۳۸۹) "اثر مدیریت نظام‌های زراعی بر

تولید اولیه خالص و ضرایب نسبی تسهیم کربن در گیاه ذرت (*Zea mays* L.)" **نشریه بوم‌شناسی**

کشاورزی، جلد ۲، شماره ۴: ص ۶۸۰-۶۶۷.

۱۳. خرم‌دل س، (۱۳۹۰)، رساله دکتری: "ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن و چرخه حیات در نظام‌های

مختلف زراعی ذرت"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۴. خلیل‌زاده ح. جهان م. و نصیری محلاتی م، (۱۳۹۴) "برآورد محصول ذرت (*Zea mays* L.) و نیتروژن

خاک از طریق اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک تحت تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک"

نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۱۳، شماره ۴: ص ۷۹۶-۷۸۶.

۱۵. خودشناس م. ع. قدبیک لو ج. و دادپور م، (۱۳۹۴) "اثرات نوع و مقدار نیتروژن و آبیاری بر جذب نیتروژن ذرت علوفه‌ای و نیترات باقی مانده خاک" نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹، شماره ۶: ص ۱۶۵۰-۱۶۴۰.
۱۶. رحیم‌زاده ر. و نوید ح، (۱۳۹۰) "اثر روش‌های مختلف خاکورزی بر خواص خاک رسی و عملکرد گندم در تناوب با نخود در شرایط دیم" نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲۱/۲، شماره ۱: ص ۴۱-۲۹.
۱۷. روستا م. ج، (۱۳۸۸) "تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی بر میزان ماده آلی و پایداری خاکدانه‌ها" مجله پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۳، شماره ۱: ص ۶۷-۶۱.
۱۸. زلفی باوریانی م. رونقی ع. کریمیان ن. ع. قاسمی ر. و یثربی ج، (۱۳۹۵) "اثر بیوچار تهیه شده از کود مرغی در دماهای متفاوت بر ویژگی‌های شیمیایی یک خاک آهکی" نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال ۲۰، شماره ۷۵: ص ۸۶-۷۳.
۱۹. زمانی باب‌گهری ج. افیونی م. خوشگفتارمنش ا. ح. و عشقی‌زاده ح. ر، (۱۳۸۹) "اثر لجن فاضلاب کارخانه پلی‌اکریل، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر ویژگی‌های خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای" مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۴، شماره ۵۴: ص ۱۶۵-۱۵۳.
۲۰. طباطبایی س. ع. شاکری ا. و نصیری ح، (۱۳۹۳) "تأثیر شیوه‌های مختلف آبیاری و مقادیر کود دامی بر ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴" نشریه پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۱۲، شماره ۴: ص ۷۶۶-۷۷۵.

۲۱. عباسی ه. خداوردی لو ح. قربانی دشتکی ش. و احمدی مقدم پ، (۱۳۹۲) "تأثیر برخی روش‌های خاکورزی بر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک" نشریه مکانیزاسیون کشاورزی، دوره اول، شماره ۲: ص ۳۷-۴۵.
۲۲. علی احيائي م و بهبهانی‌زاده ع. ا، (۱۳۷۲) "شرح روشهای تجزیه شیمیائی خاک" چاپ اول، نشریه شماره ۸۹۳، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۲۹ صفحه.
۲۳. علی‌اصغرزاده ن، (۱۳۸۵) "روش‌های آزمایشگاهی در بیولوژی خاک" انتشارات دانشگاه تبریز، ۵۲۲ صفحه.
۲۴. علیجانی خ. بحرانی م. ج. و کاظمینی س. ع، (۱۳۹۰) "تأثیر روش‌های خاکورزی و مقادیر بقایای ذرت بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گندم" نشریه پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۹، شماره ۳: ص ۴۸۶-۴۹۳.
۲۵. فتحی گردلیدانی ا. میرسید حسینی ح. و فرحبخش م، (۱۳۹۴) "برخی آثار کمپوست قارچ مصرفی و بیوچار باگاس بر فعالیت فسفاتاز قلیایی و فراهمی فسفر در چند خاک آهکی" تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۶، شماره ۴: ص ۸۰۱-۸۱۲.
۲۶. فلاحي ح. ر، رضوانی مقدم پ، بهدانی م. ع، اقحوانی شجری م، جاهدی پور س و یاری ع. ر، (۱۳۹۴) "اصول و مبانی ترسیب کربن" چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد، ۳۵۱ صفحه.
۲۷. قاسمی ا. قنبری ا. فاخری ب. ع. و فنایی ح. ر، (۱۳۹۴) "اثر منابع مختلف کود بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف خاکورزی" نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، جلد ۷، شماره ۴: ص ۴۹۹-۵۱۲.
۲۸. کوچکی ع. ر و برومند رضازاده ز، (۱۳۸۸) "خاکورزی در بوم‌نظام‌های زراعی" چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۴۳۷ صفحه.

۲۹. کوچکی ع. ر. نصیری م. و کمالی غ. ع، (۱۳۸۶) "مطالعه شاخص‌های هواشناسی ایران در شرایط

تغییر اقلیم" **مجله پژوهش‌های زراعی ایران**، جلد ۵، شماره ۱: ص ۱۴۲-۱۳۳.

۳۰. کوچکی ع. ر، نصیری محلاتی م، تبریزی ل، خیرخواه م و میرزایی تالارپشتی ر، (۱۳۸۹) "اثر تغییر

اقلیم بر بوم‌نظام‌های کشاورزی" چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۴۳۸ صفحه.

۳۱. مجیدیان م. قلاوند ا. کریمیان ن. ع. و کامگار حقیقی ع. ا، (۱۳۸۷) "تأثیر تنش رطوبت، کود

شیمیایی نیتروژنه، کود دامی و تلفیقی از کود نیتروژن و کود دامی بر عملکرد و اجزای عملکرد و

راندمان استفاده از آب ذرت سینگل کراس ۷۰۴" **علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**، سال

۱۲، شماره ۴۵ (ب): ص ۴۳۲-۴۱۷.

۳۲. محمدی خ. حیدری غ. ر. جواهری م. و آقاعلیخانی م، (۱۳۹۱) "تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی و

کوددهی بر توده زنده میکروبی و فعالیت آنزیمی خاک در زراعت آفتابگردان" **نشریه آب و خاک**

(علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۱: ص ۱۱۳-۱۰۴.

۳۳. محمدی خ. سهرابی ی. کریمی‌نژاد م. ت. و آقاعلیخانی م، (۱۳۹۲) "تأثیر سیستم‌های مختلف

خاکورزی و کوددهی بر جامعه میکروبی خاک در زراعت کلزا" **نشریه مدیریت خاک و تولید**

پایدار، جلد ۳، شماره ۲: ص ۲۷۲-۲۶۵.

۳۴. مرادی ر، (۱۳۹۲)، رساله دکتری: "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"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳۵. میرزاشاهی ک. پاک نژاد ع. ر. و امیدواری ش، (۱۳۹۵) "تأثیر تناوب زراعی و مدیریت مصرف نیتروژن

و پسماند گیاهی بر عملکرد ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک"

نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۳۰، شماره ۲: ص ۱۲۴-۱۱۵.

۳۶. نجفی قیری م، (۱۳۹۴) "تأثیر کاربرد بیوپچارهای مختلف بر برخی ویژگی‌های خاک و قابلیت جذب بعضی از عناصر غذایی در یک خاک آهکی" نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد

۲۹، شماره ۳: ص ۳۵۸-۳۵۱.

۳۷. نوربخش ف و کریمیان اقبال م، (۱۳۷۶) "حاصلخیزی خاک" چاپ اول، انتشارات غزل، اصفهان،

۲۹۹ صفحه.

38. Agegnehu G. Bass A. M. Nelson P. N. Muirhead B. Wright G. and Bird M. I. (2015) "Biochar and biochar-compost as soil amendments: effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia" **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 213, pp 72-85.
39. Agegnehu G. Nelson P. N. and Bird M. I. (2016) "Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols" **Soil & Tillage Research**, 160, pp 1-13.
40. Alef K. (1995). Soil respiration, pp 214-219, In: "Methods in applied soil microbiology and biochemistry", Alef K. and Nannipieri P. Academic press, London.
41. Alvarez R. and Steinbach H. S. (2009) "A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas" **Soil & Tillage Research**, 104, 1, pp 1-15.
42. Anken T. Weisskopf P. Zihlmann U. Forrer H. Jansa J. and Perhacova K. (2004) "Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland" **Soil & Tillage Research**, 78, 2, pp 171-183.
43. Atkinson C. J. Fitzgerald J. D. and Hipps N. A. (2010) "Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review" **Plant and Soil**, 337, 1-2, pp 1-18.
44. Awad Y. M. Blagodatskaya E. Ok Y. S. and Kuzyakov Y. (2012) "Effects of polyacrylamide, biopolymer, and biochar on decomposition of soil organic matter and plant residues as determined by ¹⁴C and enzyme activities" **European Journal of Soil Biology**, 48, pp 1-10.

45. Awale R. Chatterjee A. and Franzen D. (2013) "Tillage and N-fertilizer influences on selected organic carbon fractions in a North Dakota silty clay soil" **Soil & Tillage Research**, **134**, pp 213-222.
46. Baker J. M. Ochsner T. E. Venterea R. T. and Griffis T. J. (2007) "Tillage and soil carbon sequestration-What do we really know?" **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **118**, 1-4, pp 1-5.
47. Berner A. Hildermann I. Fließbach A. Pfiffner L. Niggli U. and Mäder P. (2008) "Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management" **Soil & Tillage Research**, **101**, 1-2, pp 89-96.
48. Biederman L. A. and Harpole W. S. (2013) "Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis" **Global Change Biology Bioenergy**, **5**, 2, pp 202-214.
49. Blair G. J. Lefroy R. D. B. and Lisle L. (1995) "Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems" **Australian Journal of Agricultural Research**, **46**, 7, pp 1459-1466.
50. Blair N. Faulkner R. D. Till A. R. and Poulton P. R. (2006) "Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility Part I: Broadbalk experiment" **Soil & Tillage Research**, **91**, 1-2, pp 30-38.
51. Bolinder M. A. Janzen H. H. Gregorich E. G. Angers D. A. and VandenBygaart A. J. (2007) "An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada" **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **118**, 1, pp 29-42.
52. Borchard N. Siemens J. Ladd B. Möller A. and Amelung W. (2014) "Application of biochars to sandy and silty soil failed to increase maize yield under common agricultural practice" **Soil & Tillage Research**, **144**, pp 184-194.
53. Borlaug N. (2007) "Feeding a hungry world" **Science**, **318**, pp 359.
54. Bouwman A. F. Boumans L. J. M. and Batjes N. H. (2002) "Emissions of N₂O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data" **Global Biogeochemical Cycles**, **16**, 4, pp 6-16-3.

55. Cabilovski R. Manojlovic M. Bogdanovic D. Magazin N. Keserovic Z. and Sitaula B. K. (2014) "Mulch type and application of manure and composts in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) production: impact on soil fertility and yield" **Zemdirbyste-Agriculture**, **101**, **1**, pp 67-74.
56. Cairns J. E. Sonder K. Zaidi P. H. Verhulst N. Mahuku G. Babu R. Nair S. K. Das B. Govaerts B. Vinayan M. T. Rashid Z. Noor J. J. Devi P. San Vicente F. and Prassanna B. M. (2012) "Maize Production in a Changing Climate: Impacts, Adaptation, and Mitigation Strategies" **Advances in Agronomy**, **114**, pp 1-58.
57. Cakir R. (2004) "Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn" **Field Crops Research**, **89**, **1**, pp 1-16.
58. Carpenter-Boggs L. Stahl P. D. Lindstrom M. J. and Schumacher T. E. (2003) "Soil microbial properties under permanent grass, conventional tillage, and no-till management in South Dakota" **Soil & Tillage Research**, **71**, **1**, pp 15-23.
59. Celik I. Ortas I. and Kilic S. (2004) "Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil" **Soil & Tillage Research**, **78**, **1**, pp 59-67.
60. Chaudhary S. Dheri G. S. and Brar B. S. (2017) "Long-term effects of NPK fertilizers and organic manures on carbon stabilization and management index under rice-wheat cropping system" **Soil & Tillage Research**, **166**, pp 59-66.
61. Chen H. Hou R. Gong Y. Li H. Fan M. and Kuzyakov Y. (2009) "Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China" **Soil & Tillage Research**, **106**, **1**, pp 85-94.
62. Chen Y. Liu S. Li H. Li X. F. Song C. Y. Cruse R. M. and Zhang X. Y. (2011) "Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China" **Soil & Tillage Research**, **115-116**, pp 56-61.
63. Conteh A. Lefroy R. D. B. and Blair G. J. (1997) "Dynamics of organic matter in soil as determined by variations in $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratios and fractionation by ease of oxidation" **Australian Journal of Soil Research**, **35**, **4**, pp 881-890.
64. Deen W. and Kataki P. K. (2003) "Carbon sequestration in a long-term conventional versus conservation tillage experiment" **Soil & Tillage Research**, **74**, **2**, pp 143-150.

65. D’Haene K. Vermang J. Cornelis W. M. Leroy B. L. M. Schiettecatte W. De Neve S. Gabriels D. and Hofman G. (2008) “Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops” **Soil & Tillage Research**, **99**, 2, pp 279-290.
66. Demeyer A. Voundi Nkana J. C. and Verloo M. G. (2001) “Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview” **Bioresource Technology**, **77**, 3, pp 287-295.
67. Díaz-Rojas M. Aguilar-Chávez Á. del Rosario Cárdenas-Aquino M. Ruíz-Valdiviezo V. M. Hernández-Valdez E. Luna-Guido M. Olalde-Portugal V. and Dendooven L. (2014) “Effects of wastewater sludge, urea and charcoal on greenhouse gas emissions in pots planted with wheat” **Applied Soil Ecology**, **73**, pp 19-25.
68. Ding Y. Liu Y. -X. Wu W. -X. Shi D. -Z. Yang M. and Zhong Z. -K. (2010) “Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns” **Water, Air & Soil Pollution**, **213**, 1-4, pp 47-55.
69. Dolan M. S. Clapp C. E. Allmaras R. R. Baker J. M. and Molina J. A. E. (2006) “Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management” **Soil & Tillage Research**, **89**, 2, pp 221-231.
70. Domínguez G. F. Diovisalvi N. V. Studdert G. A. and Monterubbianesi M. G. (2009) “Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas” **Soil & Tillage Research**, **102**, 1, pp 93-100.
71. 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, pp 165-180.
72. ESRL (Earth System Research Laboratory) (2018). The trends in atmospheric carbon dioxide. Available at web site <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/weekly.html> (verified 8 March 2018).
73. Eswaran H. Van Den Berg E. and Reich P. (1993) “Organic carbon in soils of the world” **Soil Science Society of America Journal**, **57**, 1, pp 192-194.
74. Foster E. J. Hansen N. Wallenstein M. and Cotrufo M. F. (2016) “Biochar and manure amendments impact soil nutrients and microbial enzymatic activities in a semi-arid

- irrigated maize cropping system” **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 233, pp 404-414.
75. Gong W. Yan X. -y. Wang J. -y. Hu T. -x. and Gong Y. -b. (2009) “Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools under a wheat–maize cropping system in North China Plain” **Plant and Soil**, 314, 1-2, pp 67-76.
 76. Graber E. R. Harel Y. M. Kolton M. Cytryn E. Silber A. David D. R. Tsechansky L. Borenshtein M. and Elad Y. (2010) “Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media” **Plant and Soil**, 337, 1-2, pp 481-496.
 77. Guo S. Wu J. Coleman K. Zhu H. Li Y. and Liu W. (2012) “Soil organic carbon dynamics in a dryland cereal cropping system of the Loess Plateau under long-term nitrogen fertilizer applications” **Plant and Soil**, 353, 1-2, pp 321-332.
 78. Guo L. Wu G. Li Y. Li C. Liu W. Meng J. Liu H. Yu X. and Jiang G. (2016) “Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat–maize rotation system in Eastern China” **Soil & Tillage Research**, 156, pp 140-147.
 79. Halvorson A. D. Reule C. A. and Follett R. F. (1999) “Nitrogen fertilization effects on soil carbon and nitrogen in a dryland cropping system” **Soil Science Society of America Journal**, 63, 4, pp 912-917.
 80. Halvorson A. D. Wienhold B. J. and Black A. L. (2002) “Tillage, nitrogen, and cropping system effects on soil carbon sequestration” **Soil Science Society of America Journal**, 66, 3, pp 906-912.
 81. Huang S. Peng X. Huang Q. and Zhang W. (2010) “Soil aggregation and organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a red soil of subtropical China” **Geoderma**, 154, 3-4, pp 364-369.
 82. Hussain I. Olson K. R. and Ebelhar S. A. (1999) “Long-term tillage effects on soil chemical properties and organic matter fractions” **Soil Science Society of America Journal**, 63, 5, pp 1335-1341.
 83. Hutchinson J. J. Campbell C. A. and Desjardins R. L. (2007) “Some perspectives on carbon sequestration in agriculture” **Agricultural and Forest Meteorology**, 142, 2-4, pp 288-302.

84. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). Summary for policymakers. In: **“Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”**, Stocker T. F. Qin D. Plattner G. K. Tignor M. Allen S. K. Boschung J. Nauels A. Xia Y. Bex V. and Midgley P. M. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
85. Jagadamma S. Lal R. Hoefft R. G. Nafziger E. D. and Adey E. A. (2007) “Nitrogen fertilization and cropping systems effects on soil organic carbon and total nitrogen pools under chisel-plow tillage in Illinois” **Soil & Tillage Research**, **95**, 1-2, pp 348-356.
86. Jansson C. Wullschlegel S. D. Kalluri U. C. and Tuskan G. A. (2010) “Phytosequestration: Carbon biosequestration by plants and the prospects by genetic engineering” **BioScience**, **60**, 9, pp 685-696.
87. Jay C. N. Fitzgerald J. D. Hips N. A. and Atkinson C. J. (2015) “Why short-term biochar application has no yield benefits: evidence from three field-grown crops” **Soil Use and Management**, **31**, 2, pp 241-250.
88. Jeffery S. Verheijen F. G. A. van der Velde M. and Bastos A. C. (2011) “A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis” **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **144**, 1, pp 175-187.
89. Jones P. G. and Thornton P. K. (2003) “The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055” **Global Environmental Change**, **13**, 1, pp 51-59.
90. Jones D. L. Murphy D. V. Khalid M. Ahmad W. Edwards-Jones G. and DeLuca T. H. (2011) “Short-term biochar-induced increase in soil CO₂ release is both biotically and abiotically mediated” **Soil Biology & Biochemistry**, **43**, 8, pp 1723-1731.
91. Jones D. L. Rousk J. Edwards-Jones G. DeLuca T. H. and Murphy D. V. (2012) “Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial” **Soil Biology & Biochemistry**, **45**, pp 113-124.

92. Kahlon M. S. Lal R. and Ann-Varughese M. (2013) "Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio" **Soil & Tillage Research**, 126, pp 151-158.
93. Kanchikerimath M. and Singh D. (2001) "Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize–wheat–cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India" **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 86, 2, pp 155-162.
94. Karami A. Homae M. Afzalnia S. Ruhipour H. and Basirat S. (2012) "Organic resource management: impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties" **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 148, pp 22-28.
95. Khorramdel S. Koocheki A. Nassiri Mahallati M. Khorasani R. and Ghorbani R. (2013) "Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems" **Soil & Tillage Research**, 133, pp 25-31.
96. Kibet L. C. Blanco-Canqui H. and Jara P. (2016) "Long-term tillage impacts on soil organic matter components and related properties on a Typic Argiudoll" **Soil & Tillage Research**, 155, pp 78-84.
97. Kimetu J. M. Lehmann J. Ngoze S. O. Mugendi D. N. Kinyangi J. M. Riha S. Verchot L. Recha J. W. and Pell A. N. (2008) "Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient" **Ecosystems**, 11, 5, pp 726-739.
98. Knowles O. A. Robinson B. H. Contangelo A. and Clucas L. (2011) "Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids" **Science of the Total Environment**, 409, 17, pp 3206-3210.
99. Koocheki A. Nassiri M. Kamali G. A. and Shahandeh H. (2006) "Potential impacts of climate change on agroclimatic indicators in Iran" **Arid Land Research and Management**, 20, 3, pp 245-259.
100. Kukal S. S. Rasool R. and Benbi D. K. (2009) "Soil organic carbon sequestration in relation to organic and inorganic fertilization in rice–wheat and maize–wheat systems" **Soil & Tillage Research**, 102, 1, pp 87-92.

101. Küstermann B. Munch J. C. and Hülsbergen K. -J. (2013) "Effects of soil tillage and fertilization on resource efficiency and greenhouse gas emissions in a long-term field experiment in Southern Germany" **European Journal of Agronomy**, **49**, pp 61-73.
102. Lal R. (2004a) "Agricultural activities and the global carbon cycle" **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, **70**, 2, pp 103-116.
103. Lal R. (2004b) "Soil carbon sequestration to mitigate climate change" **Geoderma**, **123**, 1-2, pp 1-22.
104. Lal R. (2006) "Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands" **Land Degradation & Development**, **17**, 2, pp 197-209.
105. Lal R. (2009) "Challenges and opportunities in soil organic matter research" **European Journal of Soil Science**, **60**, 2, pp 158-169.
106. Lal R. (2011) "Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems" **Food Policy**, **36**, pp S33-S39.
107. Lal R. and Kimble J. M. (1997) "Conservation tillage for carbon sequestration" **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, **49**, 1-3, pp 243-253.
108. Lehmann J. da Silva Jr J. P. Steiner C. Nehls T. Zech W. and Glaser B. (2003) "Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments" **Plant and Soil**, **249**, 2, pp 343-357.
109. Lehmann J. (2007) "Bio-energy in the black" **Frontiers in Ecology and the Environment**, **5**, 7, pp 381-387.
110. Lehmann J. Skjemstad J. Sohi S. Carter J. Barson M. Falloon P. Coleman K. Woodbury P. and Krull E. (2008) "Australian climate-carbon cycle feedback reduced by soil black carbon" **Nature Geoscience**, **1**, pp 832-835.
111. Lehmann J. Rillig M. C. Thies J. Masiello C. A. Hockaday W. C. and Crowley D. (2011) "Biochar effects on soil biota—a review" **Soil Biology & Biochemistry**, **43**, 9, pp 1812-1836.
112. Leifeld J. and Fuhrer J. (2009) "Long-term management effects on soil organic matter in two cold, high-elevation grasslands: clues from fractionation and radiocarbon dating" **European Journal of Soil Science**, **60**, 2, pp 230-239.

113. Lemke R. L. Zhong Z. Campbell C. A. and Zentner R. (2007) “Can pulse crops play a role in mitigating greenhouse gases from North American agriculture?” **Agronomy Journal**, **99**, 6, pp 1719-1725.
114. Lentz R. D. and Ippolito J. A. (2012) “Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake” **Journal of Environmental Quality**, **41**, 4, pp 1033-1043.
115. Li S. Li Y. Li X. Tian X. Zhao A. Wang S. Wang S. and Shi J. (2016) “Effect of straw management on carbon sequestration and grain production in a maize–wheat cropping system in Anthrosol of the Guanzhong Plain” **Soil & Tillage Research**, **157**, pp 43-51.
116. Liang Q. Chen H. Gong Y. Fan M. Yang H. Lal R. and Kuzyakov Y. (2012) “Effects of 15 years of manure and inorganic fertilizers on soil organic carbon fractions in a wheat-maize system in the North China Plain” **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, **92**, 1, pp 21-33.
117. Liang F. Li G. -t. Lin Q. -m and Zhao X. -r. (2014) “Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil” **Journal of Integrative Agriculture**, **13**, 3, pp 525-532.
118. Liebig M. A. Varvel G. E. Doran J. W. and Wienhold B. J. (2002) “Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western corn belt” **Soil Science Society of America Journal**, **66**, 2, pp 596-601.
119. Liu E. Yan C. Mei X. Zhang Y. and Fan T. (2013a) “Long-term effect of manure and fertilizer on soil organic carbon pools in dryland farming in northwest China” **PLOS ONE**, **8**, 2, pp 1-9.
120. Liu X. Zhang A. Ji C. Joseph S. Bian R. Li L. Pan G. and Paz-Ferreiro J. (2013b) “Biochar’s effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions - a meta-analysis of literature data” **Plant and Soil**, **373**, 1-2, pp 583-594.
121. Liu X. Ye Y. Liu Y. Zhang A. Zhang X. Li L. Pan G. Kibue G. W. Zheng J. and Zheng J. (2014) “Sustainable biochar effects for low carbon crop production: A 5-crop season field experiment on a low fertility soil from Central China” **Agricultural Systems**, **129**, pp 22-29.

122. Lobell D. B. Bänziger M. Magorokosho C. and Vivek B. (2011) “Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials” **Nature Climate Change**, **1**, pp 42-45.
123. Lou Y. Xu M. Wang W. Sun X. and Liang C. (2011) “Soil organic carbon fractions and management index after 20 yr of manure and fertilizer application for greenhouse vegetables” **Soil Use and Management**, **27**, 2, pp 163-169.
124. Lu M. Zhou X. Luo Y. Yang Y. Fang C. Chen J. and Li B. (2011) “Minor stimulation of soil carbon storage by nitrogen addition: A meta-analysis” **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **140**, 1-2, pp 234-244.
125. Lugato E. Berti A. and Giardini L. (2006) “Soil organic carbon (SOC) dynamics with and without residue incorporation in relation to different nitrogen fertilisation rates” **Geoderma**, **135**, pp 315-321.
126. Major J. Rondon M. Molina D. Riha S. J. and Lehmann J. (2010) “Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol” **Plant and Soil**, **333**, 1-2, pp 117-128.
127. Maltas A. Charles R. Jeangros B. and Sinaj S. (2013) “Effect of organic fertilizers and reduced-tillage on soil properties, crop nitrogen response and crop yield: Results of a 12-year experiment in Changins, Switzerland” **Soil & Tillage Research**, **126**, pp 11-18.
128. Manna M. C. Swarup A. Wanjari R. H. Mishra B. and Shahi D. K. (2007) “Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields” **Soil & Tillage Research**, **94**, 2, pp 397-409.
129. 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 & Environment**, **117**, 2-3, pp 119-127.
130. Mikha M. M. and Rice C. W. (2004) “Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen” **Soil Science Society of America Journal**, **68**, 3, pp 809-816.
131. Min D. H. Islam K. R. Vough L. R. and Weil R. R. (2003) “Dairy manure effects on soil quality properties and carbon sequestration in alfalfa–orchardgrass systems” **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, **34**, 5-6, pp 781-799.

132. Mishra A. Singh R. Raghuwanshi N. S. Chatterjee C. and Froebrich J. (2013) "Spatial variability of climate change impacts on yield of rice and wheat in the Indian Ganga Basin" **Science of the Total Environment**, 468-469, pp S132-S138.
133. Mosaddeghi M. R. Mahboubi A. A. and Safadoust A. (2009) "Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran" **Soil & Tillage Research**, 104, 1, pp 173-179.
134. Mungai N. W. Motavalli P. P. Nelson K. A. and Kremer R. J. (2005) "Differences in yields, residue composition and N mineralization dynamics of Bt and non-Bt maize" **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 73, 1, pp 101-109.
135. Neff J. C. Townsend A. R. Gleixner G. Lehman S. J. Turnbull J. and Bowman W. D. (2002) "Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon" **Nature**, 419, 6910, pp 915-917.
136. Nguyen C. (2003) "Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls" **Agronomie**, 23, 5-6, pp 375-396.
137. Olsen S. R. Cole C. V. Watanabe F. S. and Dean L. A. (1954) "**Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate**" United States Department of Agriculture Circular 939, United States Government Printing Office, Washington D. C.
138. Oseni T. O. and Masarirambi M. T. (2011) "Effect of climate change on maize (*Zea mays*) production and food security in Swaziland" **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, 11, 3, pp 385-391.
139. Ouyang L. Yu L. and Zhang R. (2014) "Effects of amendment of different biochars on soil carbon mineralisation and sequestration" **Soil Research**, 52, 1, pp 46-54.
140. Pagliai M. Vignozzi N. and Pellegrini S. (2004) "Soil structure and the effect of management practices" **Soil & Tillage Research**, 79, 2, pp 131-143.
141. Pan G. Smith P. and Pan W. (2009) "The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China" **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 129, 1-3, pp 344-348.
142. Peng X. Ye L. L. Wang C. H. Zhou H. and Sun B. (2011) "Temperature- and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China" **Soil & Tillage Research**, 112, 2, pp 159-166.

143. Puget P. and Lal R. (2005) "Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use" **Soil & Tillage Research**, **80**, 1-2, pp 201-213.
144. Qiu S. Gao H. Zhu P. Hou Y. Zhao S. Rong X. Zhang Y. He P. Christie P. and Zhou W. (2016) "Changes in soil carbon and nitrogen pools in a Mollisol after long-term fallow or application of chemical fertilizers, straw or manures" **Soil & Tillage Research**, **163**, pp 255-265.
145. Rasool R. Kukal S. S. and Hira G. S. (2008) "Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize–wheat system" **Soil & Tillage Research**, **101**, 1-2, pp 31-36.
146. Rockström J. Kaumbutho P. Mwalley J. Nzabi A. W. Temesgen M. Mawenya L. Barron J. Mutua J. and Damgaard-Larsen S. (2009) "Conservation farming strategies in East and Southern Africa: yields and rain water productivity from on-farm action research" **Soil & Tillage Research**, **103**, 1, pp 23-32.
147. Rogovska N. Laird D. A. Rathke S. J. and Karlen D. L. (2014) "Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability" **Geoderma**, **230-231**, pp 340-347.
148. Rondon M. A. Lehmann J. Ramírez J. and Hurtado M. (2007) "Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions" **Biology and Fertility of Soils**, **43**, 6, pp 699-708.
149. Rudrappa L. Purakayastha T. J. Singh D. and Bhadraray S. (2006) "Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools in a Typic Haplustept of semi-arid sub-tropical India" **Soil & Tillage Research**, **88**, 1-2, pp 180-192.
150. Russell A. E. Laird D. A. Parkin T. B. and Mallarino A. P. (2005) "Impact of nitrogen fertilization and cropping system on carbon sequestration in Midwestern Mollisols" **Soil Science Society of America Journal**, **69**, 2, pp 413-422.
151. Sainju U. M. Singh B. P. and Whitehead W. F. (2002) "Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA" **Soil & Tillage Research**, **63**, 3, pp 167-179.
152. Sainju U. M. Senwo Z. N. Nyakatawa E. Z. Tazisong I. A. and Reddy K. C. (2008) "Soil carbon and nitrogen sequestration as affected by long-term tillage, cropping

- systems, and nitrogen fertilizer sources” **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **127**, 3-4, pp 234-240.
153. Sanz-Cobena A. Sánchez-Martín L. García-Torres L. and Vallejo A. (2012) “Gaseous emissions of N₂O and NO and NO₃⁻ leaching from urea applied with urease and nitrification inhibitors to a maize (*Zea mays*) crop” **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **149**, pp 64-73.
 154. Schimel D. S. House J. I. Hibbard K. A. Bousquet P. Ciais P. Peylin P. Braswell B. H. Apps M. J. Baker D. Bondeau A. Canadell J. Churkina G. Cramer W. Denning A. S. Field C. B. Friedlingstein P. Goodale C. Heimann M. Houghton R. A. Melillo J. M. Moore III B. Murdiyarso D. Noble I. Pacala S. W. Prentice I. C. Raupach M. R. Rayner P. J. Scholes R. J. Steffen W. L. and Wirth C. (2001) “Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems” **Nature**, **414**, pp 169-172.
 155. Schlesinger W. H. (1999) “Carbon sequestration in soils” **Science**, **284**, pp 2095-2099.
 156. Selles F. Kochhann R. A. Denardin J. E. Zentner R. P. and Faganello A. (1997) “Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian Oxisol under different tillage systems” **Soil & Tillage Research**, **44**, 1-2, pp 23-34.
 157. Shirani H. Hajabbasi M. A. Afyuni M. and Hemmat A. (2002) “Effects of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran” **Soil & Tillage Research**, **68**, 2, pp 101-108.
 158. Singh B. P. Cowie A. L. and Smernik R. J. (2012) “Biochar carbon stability in a clayey soil as a function of feedstock and pyrolysis temperature” **Environmental Science & Technology**, **46**, 21, pp 11770-11778.
 159. Six J. Elliott E. T. and Paustian K. (1999) “Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems” **Soil Science Society of America Journal**, **63**, 5, pp 1350-1358.
 160. Six J. Elliott E. T. and Paustian K. (2000) “Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture” **Soil Biology & Biochemistry**, **32**, 14, pp 2099-2103.
 161. Six J. Feller C. Denef K. Ogle S. M. de Moraes Sa J. C. and Albrecht A. (2002a) “Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - effects of no-tillage” **Agronomie**, **22**, 7-8, pp 755-775.

162. Six J. Conant R. T. Paul E. A. and Paustian K. (2002b) “Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils” **Plant and Soil**, **241**, 2, pp 155-176.
163. Six J. Bossuyt H. Degryze S. and Denef K. (2004) “A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics” **Soil & Tillage Research**, **79**, 1, pp 7-31.
164. Smith P. (2004) “Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context” **European Journal of Agronomy**, **20**, 3, pp 229-236.
165. Smith P. Martino D. Cai Z. Gwary D. Janzen H. Kumar P. McCarl B. Ogle S. O'Mara F. Rice C. Scholes B. Sirotenko O. Howden M. McAllister T. Pan G. Romanenkov V. Schneider U. Towprayoon S. Wattenbach M. and Smith J. (2008) “Greenhouse gas mitigation in agriculture” **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, **363**, pp 789-813.
166. Smith J. L. Collins H. P. and Bailey V. L. (2010) “The effect of young biochar on soil respiration” **Soil Biology & Biochemistry**, **42**, 12, pp 2345-2347.
167. Snyder C. S. Bruulsema T. W. Jensen T. L. and Fixen P. E. (2008) “Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects” **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **133**, 3-4, pp 247-266.
168. Steiner C. Das K. C. Melear N. and Lakly D. (2010) “Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar” **Journal of Environmental Quality**, **39**, 4, pp 1236-1242.
169. Stewart C. E. Halvorson A. D. and Delgado J. A. (2017) “Long-term N fertilization and conservation tillage practices conserve surface but not profile SOC stocks under semi-arid irrigated corn” **Soil & Tillage Research**, **171**, pp 9-18.
170. Studdert G. A. and Echeverria H. E. (2000) “Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics” **Soil Science Society of America Journal**, **64**, 4, pp 1496-1503.
171. Su Y. -Z. Wang F. Suo D. -R. Zhang Z. -H. and Du M. -W. (2006) “Long-term effect of fertilizer and manure application on soil-carbon sequestration and soil fertility under the wheat–wheat–maize cropping system in northwest China” **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, **75**, 1-3, pp 285-295.

172. Taghizadeh-Toosi A. Clough T. J. Sherlock R. R. and Condon L. M. (2012) "Biochar adsorbed ammonia is bioavailable" **Plant and Soil**, **350**, 1-2, pp 57-69.
173. Tammeorg P. Simojoki A. Mäkelä P. Stoddard F. L. Alakukku L. and Helenius J. (2014) "Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertiliser on a boreal loamy sand" **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **191**, pp 108-116.
174. Tian S. Ning T. Wang Y. Liu Z. Li G. Li Z. and Lal R. (2016) "Crop yield and soil carbon responses to tillage method changes in North China" **Soil & Tillage Research**, **163**, pp 207-213.
175. Tirol-Padre A. and Ladha J. K. (2004) "Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon" **Soil Science Society of America Journal**, **68**, 3, pp 969-978.
176. Tripathi A. Tripathi D. K. Chauhan D. K. Kumar N. and Singh G. S. (2016) "Paradigms of climate change impacts on some major food sources of the world: a review on current knowledge and future prospects" **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **216**, pp 356-373.
177. Triplett G. B. and Dick W. A. (2008) "No-tillage crop production: a revolution in agriculture!" **Agronomy Journal**, **100**, S3, pp 153-165.
178. Turner D. A. Edis R. B. Chen D. Freney J. R. Denmead O. T. and Christie R. (2010) "Determination and mitigation of ammonia loss from urea applied to winter wheat with N-(n-butyl) thiophosphorictriamide" **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **137**, 3-4, pp 261-266.
179. Ussiri D. A. N. and Lal R. (2009) "Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio" **Soil & Tillage Research**, **104**, 1, pp 39-47.
180. Vaccari F. P. Baronti S. Lugato E. Genesio L. Castaldi S. Fornasier F. and Miglietta F. (2011) "Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat" **European Journal of Agronomy**, **34**, 4, pp 231-238.
181. van Groenigen K. J. Hastings A. Forristal D. Roth B. Jones M. and Smith P. (2011) "Soil C storage as affected by tillage and straw management: An assessment using field

- measurements and model predictions” **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **140**, 1-2, pp 218-225.
182. van Zwieten L. Kimber S. Downie A. Morris S. Petty S. Rust J. and Chan K. Y. (2010) “A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil” **Australian Journal of Soil Research**, **48**, 6-7, pp 569-576.
 183. Vogeler I. Rogasik J. Funder U. Panten K. and Schnug E. (2009) “Effect of tillage systems and P-fertilization on soil physical and chemical properties, crop yield and nutrient uptake” **Soil & Tillage Research**, **103**, 1, pp 137-143.
 184. Walkley A. and Black I. A. (1934) “An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method” **Soil Science**, **37**, 1, pp 29-38.
 185. Wang Z. Y. Kelly J. M. and Kovar J. L. (2007) “Depletion of macro-nutrients from rhizosphere soil solution by juvenile corn, cottonwood, and switchgrass plants” **Plant and Soil**, **270**, 1-2, pp 213-221.
 186. Wang Q. Zhang L. Li L. Bai Y. Cao J. and Han X. (2009) “Changes in carbon and nitrogen of Chernozem soil along a cultivation chronosequence in a semi-arid grassland” **European Journal of Soil Science**, **60**, 6, pp 916-923.
 187. Wang M. Li Y. Ye W. Bornman J. F. and Yan X. (2011) “Effects of climate change on maize production and potential adaptation measures: a case study in Jilin Province, China” **Climate Research**, **46**, 3, pp 223-242.
 188. Wang X. Zhou W. Liang G. Song D. and Zhang X. (2015) “Characteristics of maize biochar with different pyrolysis temperatures and its effects on organic carbon, nitrogen and enzymatic activities after addition to fluvo-aquic soil” **Science of the Total Environment**, **538**, pp 137-144.
 189. West T. O. and Post W. M. (2002) “Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation” **Soil Science Society of America Journal**, **66**, 6, pp 1930-1946.
 190. Wheeler T. and von Braun J. (2013) “Climate change impacts on global food security” **Science**, **341**, pp 508-513.
 191. Woolf D. Amonette J. E. Street-Perrott F. A. Lehmann J. and Joseph S. (2010) “Sustainable biochar to mitigate global climate change” **Nature Communications**, **1**, pp 1-9.

192. Wright A. L. and Hons F. M. (2005) "Soil carbon and nitrogen storage in aggregates from different tillage and crop regimes" **Soil Science Society of America Journal**, **69**, **1**, pp **141-147**.
193. Wu T. Schoenau J. J. Li F. Qian P. Malhi S. S. Shi Y. and Xu F. (2004) "Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China" **Soil & Tillage Research**, **77**, **1**, pp **59-68**.
194. Wyngaard N. Echeverría H. E. Sainz Rozas H. R. and Divito G. A. (2012) "Fertilization and tillage effects on soil properties and maize yield in a Southern Pampas Argiudoll" **Soil & Tillage Research**, **119**, pp **22-30**.
195. Yang X. -M. and Wander M. M. (1999) "Tillage effects on soil organic carbon distribution and storage in a silt loam soil in Illinois" **Soil & Tillage Research**, **52**, **1-2**, pp **1-9**.
196. Yang X. Ren W. Sun B. and Zhang S. (2012) "Effects of contrasting soil management regimes on total and labile soil organic carbon fractions in a loess soil in China" **Geoderma**, **177-178**, pp **49-56**.
197. Yang Z. C. Zhao N. Huang F. and Lv Y. Z. (2015) "Long-term effects of different organic and inorganic fertilizer treatments on soil organic carbon sequestration and crop yields on the North China Plain" **Soil & Tillage Research**, **146**, **Part A**, pp **47-52**.
198. Yang R. Su Y. -z. Wang T. and Yang Q. (2016) "Effect of chemical and organic fertilization on soil carbon and nitrogen accumulation in a newly cultivated farmland" **Journal of Integrative Agriculture**, **15**, **3**, pp **658-666**.
199. Young L. M. (2003) "Carbon sequestration in agriculture: The US policy context" **American Journal of Agricultural Economics**, **85**, **5**, pp **1164-1170**.
200. Zavalloni C. Alberti G. Biasiol S. Delle Vedove G. Fornasier F. Liu J. and Peressotti A. (2011) "Microbial mineralization of biochar and wheat straw mixture in soil: a short-term study" **Applied Soil Ecology**, **50**, pp **45-51**.
201. Zhang H. Xu M. and Zhang F. (2009) "Long-term effects of manure application on grain yield under different cropping systems and ecological conditions in China" **Journal of Agricultural Science**, **147**, **1**, pp **31-42**.
202. Zhang A. Liu Y. Pan G. Hussain Q. Li L. Zheng J. and Zhang X. (2012) "Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic

- carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain” **Plant and Soil**, **351**, 1-2, pp **263-275**.
203. Zhang M. -Y. Wang F. -J. Chen F. Malemela M. P. and Zhang H. -L. (2013) “Comparison of three tillage systems in the wheat-maize system on carbon sequestration in the North China Plain” **Journal of Cleaner Production**, **54**, pp **101-107**.
204. Zheng H. Wang Z. Deng X. Herbert S. and Xing B. (2013) “Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil” **Geoderma**, **206**, pp **32-39**.
205. Zhengchao Z. Zhuoting G. Zhouping S. and Fuping Z. (2013) “Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil organic carbon and total nitrogen in a semi-arid cropland” **European Journal of Agronomy**, **45**, pp **20-26**.

اسامی فارسی	اسامی لاتین
ادمیادس	Edmeades
استوارت	Stewart
استودرت و چوریا	Studdert and Echeverria
اشتاینر	Steiner
اسچلسینگر	Schlesinger
اسچیمیل	Schimel
اسمیت	Smith
اسنیدر	Snyder
اسواران	Eswaran
اوسنی و مساریرمبی	Oseni and Masarirambi
اولسن	Olsen
اویانگ	Ouyang
آتکینسون	Atkinson
آگگنهو	Agegnehu
آلف	Alef
آلوارز و استینبچ	Alvarez and Steinbach
آنکن	Anken
آواد	Awad
آوال	Awale
بایدومن و هارپل	Biederman and Harpole
برنر	Berner
بلیر	Blair
بورچارد	Borchard
بورلاگ	Borlaug
بولیندر	Bolinder

اسامی فارسی	اسامی لاتین
بومن	Bouwman
بیکر	Baker
پگلیای	Pagliai
پن	Pan
پنگ	Peng
پوجت و لال	Puget and Lal
تاممورگ	Tammeorg
تریپلت و دیسک	Triplett and Dick
تریپسی	Tripathi
تقی‌زاده توسی	Taghizadeh-Toosi
تورنر	Turner
تیان	Tian
تیرول پادر و لادها	Tirol-Padre and Ladha
جاگاداما	Jagadamma
جانسون	Jansson
جفری	Jeffery
جونز	Jones
جی	Jay
چاودهاری	Chaudhary
چن	Chen
حسین	Hussain
خرمدل	Khorramdel
دولان	Dolan
دومینگز	Domínguez
دهائن	D'Haene

اسامی فارسی	اسامی لاتین
دیاز-روجاس	Díaz-Rojas
دیمیر	Demeyer
دینگ	Ding
دین و کاتاکی	Deen and Katak
رادراپا	Rudrappa
راسل	Russell
راکستروم	Rockström
راندون	Rondon
رایت و هونس	Wright and Hons
رسول	Rasool
روگوسکا	Rogovska
زاوالونی	Zavalloni
ژنگ	Zhang
ژنگ	Zheng
ژنگ‌چاو	Zhengchao
سلس	Selles
سنز کوبنا	Sanz-Cobena
سو	Su
سیکس	Six
سینجو	Sainju
سینگ	Singh
شیرانی	Shirani
فoster	Foster
کابیلوسکی	Cabilovski
کاپنتر بوگس	Carpenter-Boggs

اسامی فارسی	اسامی لاتین
کاسترمن	Küstermann
کاکال	Kukal
کاکیر	Cakir
کانچی کریمس و سینگ	Kanchikerimath and Singh
کاهلون	Kahlon
کایرنس	Cairns
کرمی	Karami
کلیک	Celik
کوچکی	Koochehi
کونته	Conteh
کیبت	Kibet
کیمتو	Kimetu
کیو	Qiu
گانگ	Gong
گرابر	Graber
گو	Guo
لال	Lal
لال و کیمبل	Lal and Kimble
لمک	Lemke
لنتز و ایپولیتو	Lentz and Ippolito
لو	Lou
لو	Lu
لوبل	Lobell
لوگاتو	Lugato
لهمن	Lehmann

اسامی فارسی	اسامی لاتین
لی	Li
لیانگ	Liang
لیبیگ	Liebig
لیفلد و فوهرر	Leifeld and Fuhrer
لیو	Liu
مالتاس	Maltas
مانا	Manna
مصدقی	Mosaddeghi
مونگای	Mungai
میجر	Major
میخا و رایس	Mikha and Rice
میشرا	Mishra
مین	Min
مییر اوریچ	Meyer-Aurich
نف	Neff
نگیون	Nguyen
نولس	Knowles
واکاری	Vaccari
والکلی و بلک	Walkley and Black
وست و پُست	West and Post
ولف	Woolf
ون گرواینگن	van Groenigen
ون زوئیتن	van Zwieten
ونگ	Wang
وو	Wu

اسامی فارسی	اسامی لاتین
ووگلر	Vogeler
ویلر و ون براون	Wheeler and von Braun
وینگارد	Wyngaard
هاتچینسون	Hutchinson
هالورسون	Halvorson
هوانگ	Huang
یانگ	Yang
یانگ	Young
یانگ و وندر	Yang and Wander
یوسیری و لال	Ussiri and Lal

Abstract

Carbon sequestration could be an effective way to reduce atmospheric carbon dioxide which is the most important greenhouse gas. In order to evaluate the effects of different tillage and nutrition management systems on yield and yield components, net primary productivity, some soil properties and carbon sequestration potential in cultivation of maize (KSC 704), an experiment was carried out at Faculty of Agriculture of Shahrood University of Technology in growing years of 2015-2016 and 2016-2017. The experiment was conducted as a split plot arranged in a randomized complete block design with three replications. The tillage systems used in the main plot were conventional tillage (moldboard plow + disc) and reduced tillage (chisel plow), and nutrition management was applied on the sub plot. Seven nutrition management were: control, chemical fertilizer (300 kg.ha⁻¹ urea and 100 kg.ha⁻¹ triple superphosphate), manure (20 ton.ha⁻¹), biochar (20 ton.ha⁻¹), chemical fertilizer + manure (150 kg.ha⁻¹ urea and 50 kg.ha⁻¹ triple superphosphate + 10 ton.ha⁻¹ manure), chemical fertilizer + biochar (150 kg.ha⁻¹ urea and 50 kg.ha⁻¹ triple superphosphate + 20 ton.ha⁻¹ biochar) and manure + biochar (10 ton.ha⁻¹ manure + 20 ton.ha⁻¹ biochar). The results showed that in both years, nutrition management had significant effect on yield and yield components, seed nutrient uptake, aboveground and belowground net primary productivity. In the first year, chemical fertilizer + manure and chemical fertilizer + biochar increased seed yield (60.41 and 56.32 percent), aboveground net primary productivity (47.04 and 42.69 percent) and seed nitrogen uptake (83.95 and 81.38 percent) compared to control, respectively. In the second year, chemical fertilizer + manure as well as increased seed yield and aboveground net primary productivity by 51.43 and 47.05 percent compared to control, respectively. In the second year, maize yield in chemical fertilizer + biochar differed from chemical fertilizer alone and chemical fertilizer + manure. Nutrition management had significant effect on soil moisture, basal respiration, total nitrogen, available phosphorus, organic matter, carbon management index and soil carbon sequestration in both years. In the second year, manure and chemical fertilizer + manure increased organic matter (28.31 and 17.06 percent), carbon management index (40.38 and 33.35 percent) and soil carbon sequestration (36.80 and 22.99 percent) compared to control. However, there was no significant difference between chemical fertilizer + manure and manure. Based on the results, there was no significant difference

between conventional and reduced tillage. As well as due to the negative effects of chemical fertilizers on the physical, chemical and biological properties of soil and the high cost of these inputs must be attended to nutrition resources to improve soil properties and environment protection. Therefore, the reduced tillage with nutrition management including chemical fertilizer + manure is recommended for improvement of yield, yield components and carbon sequestration in maize cultivation

Keywords: Biochar, Carbon management index, Manure, Net primary productivity, Reduced tillage.



Shahrood University
of Technology

Faculty of Agriculture

Ph.D. Dissertation in Crop Ecology

**Evaluation of the effect of different tillage and nutrition
management systems on carbon sequestration potential in corn
cultivation**

By: Esmat Mohammadi

Supervisor:

Dr Hamidreza Asghari

Advisors:

Dr Ahmad Gholami

Dr Surur Khorramdel

June 2018