

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی خاک

تأثیر خاکورزی و نوع کود بر خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک

نگارنده: فاطمه دروگری

اساتید راهنما

دکتر وجیهه درستکار و دکتر شاهین شاهسونی

استاد مشاور

دکتر محمد هادی موحد نژاد

شهریور ۱۳۹۸

## تقدیم اثر

مقدس ترین واژه ها در لغت نامه دلم، پدر و مادر مرحومم که زندگیم را مدیون مهر و

عظوفت آنها می دانم.

خواهرم که وجودش شادی بخش و مایه آرامش من است.

به آنان که در راه کسب دانش راهنمایم بودند.

## تشکر و قدردانی

از استاد کرامیم سرکار خانم دکتر دستگاره دلیل یاریها و راهنماییهای بی چشم داشت

ایشان که بسیاری از سختیها را برایم آسانتر نمود بسیار سپاسگزارم.

و همچنین از جناب آقای دکتر شاهین شامسونی سپاسگزارم.

از استاد مشاور کرامی جناب آقای دکتر محمدی موحدرثاود بسیار سپاسگزارم چرا که

بدون راهنماییهای ایشان تاین این پایان نامه بسیار مشکل می بود.

# تعمدنامه

اینجانب **فاطمه دروگری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **علوم خاک** دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **اثر خاکورزی و نوع کود بر خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک** تحت راهنمایی دکتر وجیهه درستکار و دکتر شاهین شاهسونی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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 ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها 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 پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

در حالیکه جمعیت جهان رو به افزایش است، منابع آب و خاک لازم برای تولید غذای بشر با محدودیتهای جدی روبه‌روست. در مسیر مدیریت کشاورزی عملیات خاکورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. خاکورزی یکی از مهمترین عملیات‌های زراعی بوده که ویژگی‌های مختلف خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. استفاده از ابزارهای مختلف سبب تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک می‌شود. این مطالعه با هدف بررسی برخی روش‌های خاکورزی (شخم با گاوآهن برگرداندار، شخم با گاوآهن برگرداندار+ دیسک، شخم با روتیواتور+ گاوآهن برگرداندار، شخم با گاوآهن برگرداندار+ کولتیواتور و چیزل)، و نوع کود آلی (کود دامی و پسماند ذرت) بر برخی ویژگی‌های خاک در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود و در کرت‌های با ابعاد  $10 \times 6$  متر صورت گرفته است. نمونه‌برداری پس از اعمال تیمارهای خاکورزی و کود در دو عمق  $10-0$  و  $20-10$  سانتی‌متری انجام گرفته است. نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان ماده آلی خاک در عمق  $10-0$  در تیمار خاکورزی چیزل مشاهده شد و همچنین مشاهده شد تنها اختلاط پسماند ذرت در خاک سبب افزایش معنی‌دار ماده آلی نسبت به کود دامی و شاهد شد. چیزل کم‌ترین اثر را در تخریب ساختمان خاک داشته، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و کم‌ترین مقدار رس قابل پراکنش در دو عمق  $10-0$  و  $20-10$  سانتی‌متر در این تیمار مشاهده شد. کاربرد موادآلی باعث بهبود ساختمان خاک شده اما تنها کاربرد پسماند ذرت سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شده است. بیش‌ترین مقاومت فروروی خاک در همه مکش‌های مورد مطالعه در تیمار کم خاکورز چیزل و کم‌ترین آن در تیمار کاربرد روتیواتور همراه با گاوآهن برگرداندار مشاهده شد. استفاده از مواد آلی سبب کاهش مقاومت فروروی خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد، اما این مقاومت در دو مکش ماتریک  $10000$  و  $15000$  سانتی‌متر همچنان بیش از  $2$  مگاپاسکال بوده است.

کلمات کلیدی: پایداری ساختمان خاک، خاکورزی، رس قابل پراکنش، کود آلی، مقاومت فروروی

خاک.

## مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- دروگری ف، درستکار و، شاهسونی ش، موحد نژاد ه (۱۳۹۷) " تأثیر ابزارهای مختلف

خاکورزی بر پایداری ساختمان خاک"، یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم

و مکانیزاسیون ایران، همدان.

## فهرست مطالب

ر	فهرست جداول
ز	فهرست اشکال
۱	فصل اول : مقدمه
۲	۱-۱ - مقدمه .....
۷	فصل دوم: کلیات و بررسی منابع
۸	۱-۲- اهمیت ماشین در کشاورزی .....
۸	۲-۲ - مقدمه‌های بر خاکورزی .....
۹	۳-۲ مفاهیم خاکورزی در کشاورزی و اهمیت آن .....
۹	۴-۲- انواع روشهای خاکورزی .....
۱۰	۲-۴-۱ خاکورزی حفاظتی .....
۱۱	۲-۴-۳ خاکورزی اولیه .....
۱۱	۲-۴-۴ خاکورزی ثانویه .....
۱۲	۲-۵-۵ - ادوات خاکورزی اولیه و ثانویه .....
۱۲	۲-۵-۱- گاواهن برگرداندار .....
۱۲	۲-۵-۲- کولتیواتور .....
۱۳	۲-۵-۳- دیسک .....
۱۳	۲-۵-۴- چیزل .....
۱۴	۲-۵-۵- گاواهنهای دوار (روتیواتور) .....
۱۴	۲-۶- تأثیر خاکورزی بر خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک .....
۱۹	۲-۷- اهمیت کودهای آلی و حفظ آن .....
۲۲	۲-۸- انواع کودهای آلی .....
۲۲	۲-۸-۱ کود گاوی .....
۲۳	۲-۸-۲ کمپوست .....



۲۴.....۳-۸-۲ کود سبز.....

۲۵.....۹-۲ تأثیر مواد آلی در سیستمهای مختلف خاکورزی بر عملکرد و خصوصیات خاک.....

## فصل سوم: مواد و روشها ۲۹

۳۰.....۲-۳ شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش.....

۳۰.....۳-۳ مشخصات خاک مزرعه آزمایشی.....

۳۱.....۵-۳ مشخصات کرتها.....

۳۲.....۶-۳ آماده سازی زمین.....

۳۳.....۷-۳ عملیات کاشت.....

۳۴.....۸-۳ عملیات داشت.....

۳۴.....۹-۳ نمونه برداری.....

۳۵.....۱۰-۳ اندازه گیری متغیرهای فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی.....

۳۵.....۱-۱۰-۳ چگالی ظاهری.....

۳۵.....۲-۱۰-۳ چگالی حقیقی.....

۳۵.....۳-۱۰-۳ ماده آلی خاک.....

۳۵.....۴-۱۰-۳ رس قابل پراکنش در خاک.....

۳۶.....۵-۱۰-۳ ساختمان خاک.....

۳۶.....۶-۱۰-۳ EC-pH.....

۳۷.....۷-۱۰-۳ اندازه گیری مقاومت فروروی خاک.....

## فصل چهارم: نتایج و بحث ۳۹

۴۰.....۱-۴ ماده آلی.....

۴۳.....۲-۴ pH خاک.....

۴۳.....۳-۴ میانگین وزنی قطر خاکدانهها.....

۴۹.....۴-۴ رس قابل پراکنش خاک.....

۵۲.....۵-۴ چگالی ظاهری خاک.....

۴-۶- تخلخل خاک ..... ۵۶

۴-۷- مقاومت فروروی خاک ..... ۵۹

۷۳ فصل پنجم: نتیجه گیری

۵-۱- نتیجه گیری کلی ..... ۷۴

۵-۲- پیشنهادات ..... ۷۵

منابع ..... ۷۶

## فهرست جداول

جدول ۳-۱- جدول ویژگیهای اولیه فیزیکی و شیمیایی خاک محلازمایش ..... ۳۱

جدول ۳-۲- جدول ویژگیهای کلی ادوات خاکورزی ..... ۳۳

جدول ۴-۱- جدول تجزیه واریانس اثر خاکورزی و کودآلی بر ماده آلی و pH ..... ۴۰

جدول ۴-۲- جدول تجزیه واریانس اثر خاکورزی و کودآلی بر میانگین وزنی قطر خاکدانهها و رس قابل انتشار در عمق

۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ ..... ۴۴

جدول ۴-۳- جدول تجزیه واریانس اثر خاکورزی و کودآلی بر چگالی ظاهری و تخلخل خاک ..... ۵۲

# فهرست اشکال

- شکل ۳-۱- شماتیک کرت‌های خرد شده برای طرح آزمایشی اسپلت پلات..... ۳۲
- شکل ۳-۲- نمای کلی ادوات خاکورزی اولیه و ثانویه..... ۳۳
- شکل ۳-۳- نمای کلی مزرعه..... ۳۴
- شکل ۴-۱- نمودار مقایسه میانگین اثر خاکورزی بر ماده آلی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر..... ۴۱
- شکل ۴-۲- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر در صد ماده آلی در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر..... ۴۲
- شکل ۴-۳- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر pH خاک..... ۴۳
- شکل ۴-۴- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر..... ۴۵
- شکل ۴-۵- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر..... ۴۶
- شکل ۴-۶- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر..... ۴۷
- شکل ۴-۷- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر..... ۴۷
- شکل ۴-۸- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر رس قابل پراکنش خاک در آب در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر..... ۵۰
- شکل ۴-۹- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر رس قابل پراکنش خاک در آب در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر..... ۵۰
- شکل ۴-۱۰- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر رس قابل پراکنش خاک در آب در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر..... ۵۱
- شکل ۴-۱۱- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر چگالی ظاهری خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر..... ۵۳

- شکل ۴-۱۲- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر چگالی ظاهری خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر.....۵۴
- شکل ۴-۱۳- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر چگالی ظاهری خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر.....۵۵
- شکل ۴-۱۴- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر چگالی ظاهری خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر.....۵۵
- شکل ۴-۱۵- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر تخلخل خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر.....۵۷
- شکل ۴-۱۶- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر تخلخل خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر.....۵۷
- شکل ۴-۱۷- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر تخلخل خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر.....۵۸
- شکل ۴-۱۸- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر تخلخل خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر.....۵۸
- شکل ۴-۱۹- تأثیر عملیات خاکورزی بر میانگین فروروی خاک در مکش‌های ماتریک مورد مطالعه.....۶۰
- شکل ۴-۲۰- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۳۰۰ سانتی متر.....۶۱
- شکل ۴-۲۱- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۳۰۰ سانتی متر.....۶۱
- شکل ۴-۲۲- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۵۰۰ سانتی متر.....۶۳
- شکل ۴-۲۳- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۵۰۰ سانتی متر.....۶۴
- شکل ۴-۲۴- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۵۰۰ سانتی متر.....۶۵
- شکل ۴-۲۵- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی

- متر در مکش ماتریک ۵۰۰ سانتی متر..... ۶۵
- شکل ۴-۲۶- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۱۰۰۰۰ سانتی متر..... ۶۶
- شکل ۴-۲۷- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۱۵۰۰۰ سانتی متر..... ۶۶
- شکل ۴-۲۸- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۱۰۰۰۰ سانتی متر..... ۶۷
- شکل ۴-۲۹- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۱۵۰۰۰ سانتی متر..... ۶۸
- شکل ۴-۳۰- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۱۰۰۰۰ سانتی متر..... ۶۹
- شکل ۴-۳۱- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۱۵۰۰۰ سانتی متر..... ۷۰
- شکل ۴-۳۲- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۱۰۰۰۰ سانتی متر..... ۷۰
- شکل ۴-۳۳- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۱۵۰۰۰ سانتی متر..... ۷۱



# فصل اول: مقدمه

## ۱-۱ - مقدمه

هدف از تولید محصولات کشاورزی تأمین نیازهای غذایی بشر می‌باشد. امروزه به دلیل افزایش جمعیت و بهره‌برداری غیر اصولی از خاک، منابع و اقلیم، مشکلات بسیار زیست محیطی برای انسان بوجود آمده که موجب به خطر افتادن امنیت غذایی شده است. بنابراین جهت تأمین امنیت غذایی و دستیابی به تولید پایدار، تغییر در روش‌های مرسوم تولید محصولات کشاورزی ضروری می‌باشد و مدیریت کشاورزی نادرست، بی‌توجهی و بهره‌برداری بی‌رویه موجب تخریب اراضی کشاورزی شده است. تخریب اراضی کشاورزی یکی از مهمترین مسأله‌های تأثیرگذار بر رشد و توسعه بخش کشاورزی است (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۴).

امروزه رویکرد کشاورزی جهان به سمت کشاورزی پایدار است. این نوع کشاورزی باعث تولید اقتصادی محصول می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد سالیانه ۷-۵ میلیون هکتار از اراضی دنیا حاصلخیزی خود را از دست می‌دهند. بنابراین کاربرد فناوری‌های مطلوب به منظور کاهش سرعت این روند تخریبی ضروری می‌باشد. از جمله این فناوری‌ها می‌توان به سیستم‌های خاکورزی اشاره نمود. که یکی از روش‌های کاربردی در کشاورزی پایدار به شمار می‌آید، خاکورزی در واقع عملیات مکانیکی روی خاک با هدف آماده کردن یک بستر مناسب برای کاشت بذر و رشد گیاه زراعی است (ریاکسکی و الماراس، ۲۰۰۳).

اولین هدف هر برنامه کشاورزی شامل تولید سودآور و مداوم می‌باشد، مدیریت ماشین‌های کشاورزی معمولاً به منظور انتخاب بهینه این ماشین‌ها و کاهش هزینه‌های عملیاتی برای انجام کارهای کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. عوامل زیادی در ایجاد این مدل‌ها نقش دارند که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به نوع ماشین‌های در دسترس، سطح زیر کشت و نوع محصول، تناوب زراعی و رطوبت کافی که ماشین بتواند با حفظ دانه‌بندی خاک عملیات مورد نظر را انجام دهد، اشار نمود (روتس و هاریگان، ۲۰۰۵). هر روش خاکورزی که نتواند بیش از هزینه صرف شده برای اجرای آن را از طریق افزایش محصول و بهبود شرایط خاک، سودآوری داشته باشد، باید متوقف شده



و یا تغییر یابد. اجرای عملیات خاکورزی در حدی که بتواند کشاورز را از داشتن محصولی بهینه و همچنین کنترل علفهای هرز مطمئن سازد، کافیست. هرچه عملیات خاکورزی فراتر از این میزان باشد، جای بحث و تردید دارد (آسودار و همکاران، ۱۳۸۷).

سیستم‌های خاکورزی را می‌توان به دو دسته خاکورزی رایج و خاکورزی حفاظتی تقسیم بندی کرد. در خاکورزی رایج، یک مزرعه به طور متوسط ۳ یا ۴ بار تحت عملیات خاکورزی قرار گرفته تا نهایتاً بستر بذر آماده گردد. بقایای گیاهی در سطح خاک در این سیستم اغلب کمتر از ۳۰ درصد می‌باشد. اعمال این خاکورزی در اعماق ۲۵-۳۰ سانتی‌متر یا بیشتر توسط گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و سایر ادوات صورت می‌گیرد. این نوع خاکورزی باعث می‌شود فرسایش بادی و آبی افزایش پیدا کند و آلودگی محیط زیست و منابع آبی گسترش یابد (کولر، ۲۰۰۳).

خاکورزی رایج به دو دسته عملیات خاکورزی اولیه و ثانویه تقسیم می‌شود خاکورزی اولیه برای آماده سازی اولیه خاک انجام می‌گیرد در حالی که خاکورزی ثانویه برای از بین بردن علفهای هرز، برش و زیر خاک بردن بقایای گیاهی و مخلوط کردن علفکش‌ها با خاک به کار می‌رود. با توجه به تعداد عملیات خاکورزی در روش‌های خاکورزی رایج، هزینه‌ها افزایش یافته و استهلاک ابزار را به دنبال خواهد داشت. از این رو محققان و کشاورزان در سال‌های اخیر به روش‌های خاکورزی حفاظتی روی آورده‌اند (آسودار، ۲۰۰۸). خاکورزی حفاظتی زمان کمتری را لازم داشته و معمولاً عملکرد محصول کاهش معنی‌داری را نشان نمی‌دهد، اما شرایط اقلیمی بر این موضوع تأثیر داشته، به گونه‌ای که محاسن بعضی از روش‌ها یا پارامترهای تولیدی متناسب با منطقه تغییر می‌کند (محسنی منش و مجیدی، ۱۳۷۷).

خاک از جمله منابع طبیعی دیر تجدید شونده است که حفاظت یا تخریب آن بستگی به نحوه استفاده و مدیریت کشاورزی دارد. انتخاب روش خاکورزی و نوع ادوات مورد استفاده در هنگام خاکورزی تأثیر فراوانی بر خصوصیات فیزیکی خاک و در نهایت عملکرد دانه بر جای می‌گذارد. افزایش تخلخل و نفوذپذیری خاک شرایط مناسبی برای نفوذ نزولات جوی و توسعه ریشه مهیا می‌نماید. اما

شخم عمیق و نفوذ بیش از حد در خاک منجر به از بین رفتن ساختار خاک شده و باعث تسریع در فرسایش خاک و افزایش رواناب شده و در نتیجه باعث کاهش بازدهی محصولات می‌شود. شیوه‌های مختلف خاکورزی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله مقاومت مکانیکی خاک و در صد ماده‌آلی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (حاج عباسی و همکاران، ۱۳۷۸). در کل خاکورزی عبارت است از به هم خوردگی فیزیکی خاک، از بین بردن فشردگی خاک و کنترل علفهای هرز، دفن بقایای گیاهی، اختلاط کود و اصلاح کننده‌ها با خاک و تسهیل نفوذ ریشه در خاک. افزایش تخلخل و نفوذ پذیری خاک شرایط مناسبی را برای نفوذ نزولات جوی فراهم می‌نماید. مقایسه روش‌های مختلف خاکورزی و بی‌خاکورزی بیانگر صرفه‌جویی در مصرف انرژی سوختی و ذخیره بیشتر آن در روش کم‌خاکورزی و بی‌خاکورزی نسبت به روش خاکورزی متداول می‌باشد (مصدقی و همکاران، ۱۳۸۰).

خاک به عنوان بستر کشت مناسب و تأمین کننده مواد غذایی مورد نیاز گیاه همواره مهمترین منبع در کشاورزی محسوب می‌شود، بنابراین مدیریت درست و بهره‌وری و حفظ پایداری آن اهمیت ویژه‌ای دارد. امروزه تکنیک‌های خاکورزی با به حداقل رساندن صدمات محیطی به طرز چشمگیری در عمق شخم و تعداد عملیات خاکورزی جهت گیری کرده است (جهان و همکاران، ۱۳۸۶).

## ۱-۲- ضرورت تحقیق

با توجه به این موضوع که در بسیاری از فعالیتهای مربوط به بخش کشاورزی از تراکتور و ادوات چرخ‌دار استفاده می‌شود و در اکثر موارد در ایران، کاربران فاقد دانش کافی در مورد مفاهیم مرتبط با این پارامترها و تأثیرات آن بر راندمان کاری ماشین می‌باشند و با توجه به این نکته که اطلاعات کشاورزان در این مورد اغلب بصورت تجربی و غیر علمی می‌باشد، لذا بررسی و تحلیل عملکرد ادوات کشاورزی امری ضروریست. این واقعیت غیر قابل انکاری است که فشار باد تایر ادوات کشاورزی، سرعت پیشروی و همچنین میزان بار مناسب اعمالی بر روی دستگاهها کمتر مورد توجه کشاورزان واقع می‌شود. از طرف دیگر مزارع کشاورزی دارای سطوح مختلفی از بقایای کشاورزی می‌باشند، که این بقایا ممکن است بر روی مقاومت چرخ تأثیرگذار باشد. هدف از پژوهش استفاده از ادوات مختلف

خاکورزی تأثیر بر روی حفظ بقایای گیاهی در سطح مزرعه دارند و همچنین تحلیل برخی از رفتارهای خاک در برابر ادوات خاکورزی .



# فصل دوم: کلیات و بررسی منابع

## ۲-۱- اهمیت ماشین در کشاورزی

در ابتدا، تمام محصولات کشاورزی به منظور تأمین معاش انسان به وسیله قدرت بدنی انسان تولید می‌شد. قرن‌ها سپری گشت تا این که از قدرت بدنی حیوانات در کمک به توان بدنی انسان استفاده شد. با کشف آهن، ابزاری ساخته شد که باعث بیشتر کار بدنی انسان گردید. تبدیل کشاورزی با دست به کشاورزی ماشینی در ابتدا بسیار کند بود، اما با بوجود آمدن گاواهن فلزی، تراکتور مزرعه و سایر ماشینهای کشاورزی، این حرکت با سرعتی دور از تصور پیشینیان ما انجام گرفت. تغییراتی که در چند دهه گذشته به وقوع پیوسته چنان بر ارزش‌های بشری تأثیر گذارده که انسان از چگونگی تأثیر ماشین‌های کشاورزی در آینده بشر متحیر می‌شود. در حقیقت پیشرفت کشاورزی طی یکصد سال گذشته بیش از پیشرفت بشر در این زمینه در طول تاریخ جهان بوده است. کشاورزی امروزه، با توجه به توسعه روزافزون صنعت، بدون استفاده از توان موتور و ماشین نمی‌تواند جای خود را استوار نگهدارد. به طوری که آمار کشورهای پیشرفته نشان می‌دهد، مزارعی که مجهز به ماشین هستند، گذشته از کیفیت و کمیت انجام کار و صرفه جویی در مدت انجام مراحل مختلف عملیات آماده‌سازی بستر بذر، کاشت و برداشت و غیره، نیاز کمتری به توان بدنی کارگر جهت انجام این عملیات دارند (منصوری راد، ۱۳۷۸).

## ۲-۲ - مقدمه‌ای بر خاکورزی

خاکورزی از دیرباز از مهمترین عملیات زراعی بوده و قدمت آن به آغاز فعالیت‌های کشت و کار انسان برمی‌گردد. چگونگی تکامل ادوات مربوط و وجود تنوع زیاد در آنها در طی تاریخ کشاورزی نیز حکایت از اهمیتی دارد که انسان برای آماده سازی بستر بذر در زراعت داشته هست. خاکورزی از نظر مصرف انرژی در فعالیت‌های زراعی مقام اول را دارد و در ایجاد شرایط برای فرسایش، تنظیم روابط رطوبتی و حرارت خاک، بسیار مؤثر است. به علاوه مدیریت بقایای گیاهی همیشه بخش جدایی ناپذیر از عملیات زراعی وابسته به خاکورزی بوده و این موضوع در شرایط فعلی که دیدگاه‌های جدیدی در رابطه با عوامل زیست محیطی کشاورزی مطرح است از اهمیت زیادی برخوردار است (کوچکی و برومند زاده، ۲۰۱۰).

## ۲-۳ مفاهیم خاکورزی در کشاورزی و اهمیت آن

خاک مهمترین عامل تولید محصولات زراعی است و عملیات خاکورزی مؤثرترین نقش را در افزایش عملکرد محصول به عهده دارد. خاکورزی به هر گونه عملیات مکانیکی که بر روی خاک بمنظور تغییر دادن شرایط آن برای کشت گیاهان زراعی انجام می‌شود، اطلاق می‌گردد. هدف از این فعالیت‌ها، فراهم نمودن محیطی مناسب برای جوانه‌زنی، توسعه ریشه‌ی گیاه و در عین حال کاهش علف‌های هرز، کنترل فرسایش خاک و حفظ رطوبت کافی در خاک می‌باشد (کوچکی و برومند زاده، ۲۰۱۰).

## ۲-۴- انواع روش‌های خاکورزی

### ۲-۴-۱- خاکورزی رایج

خاکورزی رایج که خاکورزی فشرده نیز نامیده می‌شود، کمتر از ۳۰ درصد بقایای گیاهی را پس از کاشت گیاه بعدی یا کمتر از ۱۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بقایای غلات ریز دانه را طی یک دوره بحرانی فرسایش بر سطح خاک باقی می‌گذارد. عموماً چنین فناوری‌هایی شامل خاکورزی برگردان‌دار یا خاکورزی فشرده می‌باشد (کوچکی و برومند زاده، ۲۰۱۰)..

خاکورزی رایج با گاوآهن برگردان‌دار و پس از آن عملیات خاکورزی برای خاک‌هایی که از نظر زهکشی داخلی مشکل دارند مانند خاک‌های رسی که دارای ساختمان ضعیفی هستند یا خاک‌هایی که تنها از شن تشکیل شده‌اند مناسب می‌باشد. کشاورزان ممکن است در چرخه پیوسته‌ای از خاکورزی برگردان‌دار درگیر شوند. توجیه خاکورزی رایج بر اساس اطمینان از یک عملکرد خوب، عاری بودن سطح خاک از بقایای گیاهی و سهولت آماده‌سازی بستر بذر و کاشت استوار است (کوچکی و برومند زاده، ۲۰۱۰).

## ۲-۴-۱-۱- مزایا و معایب خاکورزی رایج

با توجه به اینکه خاک ورزی مرسوم موجب مبارزه مکانیکی علف‌های هرز شده و در کوتاه مدت باعث افزایش محصول می‌شود، از این رو استفاده از این نظام در بین کشاورزان رواج یافته است. ولی به دلیل زیر خاک رفتن بذره‌های علف‌های هرز در اثر شخم‌های عمیق، بانک بذری خاک زیاد شده که در درازمدت مبارزه با علف‌های هرز را با دشواری روبه‌رو می‌کند. از سوی دیگر عملیات شخم موجب قطعه‌قطعه شدن اندام‌های زیرزمینی علف‌های هرز می‌شود که با اندام‌های زیرزمینی قابل‌افزودن هستند. از سویی شخم‌های عمیق در نظام‌های مرسوم، موجب تغییر در ساختار فیزیکی خاک و پودر شدن ذرات خاک می‌شود و این موضوع تخریب اراضی و افزایش فرسایش آبی را به دنبال خواهد داشت (روزاس و همکاران، ۲۰۰۴).

## ۲-۴-۲ خاکورزی حفاظتی

خاکورزی حفاظتی به هر گونه سیستم خاکورزی اطلاق می‌گردد که در آن حداقل ۳۰ درصد سطح زمین پس از کاشت گیاه، پوشیده از بقایای گیاهی بماند. این نوع خاکورزی عموماً به منظور کاهش فرسایش خاک طراحی گردیده است. طبق این تعریف خاکورزی حفاظتی شامل سیستم بدون خاکورزی، خاکورزی پشته‌ای، خاکورزی پوشش‌دار و هر گونه سیستمی می‌شود که ۳۰ درصد بقایا را پس از کشت باقی می‌گذارد (کوچکی و برومند زاده، ۲۰۱۰).

## ۲-۴-۱-۲ مزایا و معایب خاکورزی حفاظتی

در نظام‌های خاکورزی حفاظتی به دلیل اینکه شخم‌های عمیق اعمال نمی‌شود و از سوی دیگر ورود ماشین‌ها و ادوات به کشت‌زار کم‌تر است، خاک ساختار خود را حفظ می‌کند که در درازمدت فشردگی و تراکم بالای خاک ایجاد نمی‌شود. همچنین کاهش شدت برهم‌زدن خاک در نظام خاکورزی از خرد شدن و جا به جا به جایی زیاد ذرات خاک و پودر شدن آن جلوگیری کرده و در نتیجه موجب کاهش فرسایش



بادی نیز می‌شود. همچنین سطوح ناهموار و همراه با بقایای گیاهی، شرایط محیطی نامساعدی برای جوانه زدن بذر علف‌های هرز به وجود می‌آورد، و در عمل استفاده از علف کش‌ها و سله‌شکن‌های مکانیکی را مشکل‌تر می‌کند. با کاهش عملیات خاکورزی، جوانه زدن سطحی و کنترل علف‌های هرز چندساله، دشوارتر می‌شود (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۰).

### ۲-۴-۳ خاکورزی اولیه

بیش‌ترین عمق کار در روش‌های خاکورزی متعلق به خاکورزی اولیه می‌باشد. یک خاکورزی عمیق باعث نرم و سست شدن و شکستن لایه‌های خاک می‌گردد تا مقاومت مکانیکی آن را کاهش داده و بقایای گیاهی را بالا آورده و مخلوط می‌نماید. مهم‌ترین ابزاری که برای انجام عملیات خاکورزی اولیه به کار می‌رود گاواهن برگرداندار، می‌باشد و برای کار در شرایط سخت ساخته شده است. خاکورزی اولیه نسبت به ماشین‌های خاکورزی ثانویه، سطح خاک را خش و ناهموارتر به جا می‌گذارند. این ماشین‌ها با توجه به مقدار خاکی که بهم می‌زنند و مقدار بقایای گیاهی که بر روی سطح خاک یا در نزدیکی سطح خاک باقی می‌گذارند با یکدیگر تفاوت دارند (کوچکی و برومندزاده، ۲۰۱۰).

### ۲-۴-۴ خاکورزی ثانویه

با اجرای شخم اولیه، خاک مقداری نرم می‌گردد. این نرم شدن در حد از هم پاشیدن کلوخه‌هاست، برای آنکه بذر بتواند جوانه بزند باید قادر باشد که آب و عناصر غذایی حل شده در آب را جذب نمایند. برای جذب آب و عناصر غذایی بذر باید بتواند با ذرات خاک تماس پیدا کند، تماس یا ارتباط بذر با ذرات خاک در شرایطی ممکن است که اولاً ذرات ریز باشند و دوم اینکه فشار وارد گردد تا این ارتباط برقرار شود. به همین دلیل کشاورزان از گذشته تا کنون سعی می‌کنند بستر را نرم و لایه پیرامون بذر را هم کمی فشرده کنند. این عملیات تکنیکی را که بعد از شخم و به منظور آماده‌سازی نهایی بستر بذر انجام می‌گیرد خاکورزی ثانویه می‌گویند (کوچکی و برومندزاده، ۲۰۱۰).

## ۲-۴-۴-۱- معایب و مزایای خاکورزی ثانویه

در خاک خیلی نرم حاصل از خاکورزی ثانویه، امکان فرسایش و سله بستن خاک بسیار بالاست بر این اساس توصیه می‌شود خاک به حدی نرم شود که تنها ۳۰-۴۰ درصد ذرات خاک حدود و اندازه بذر یا کمتر از آن باشد. در خاکورزی ثانویه بر خلاف شخم نیاز به قطعه بندی زمین نیست بنابراین سهولت انجام کار، بهینه سازی بازده ماشین و به حداقل رساندن خسارت خاک از مزایای اصلی آن محسوب می‌شود (کیانی و همکاران، ۹۴).

## ۲-۵- ادوات خاکورزی اولیه و ثانویه

### ۲-۵-۱- گاواهن برگرداندار

گاواهن برگرداندار که ممکن است فقط گاواهن نامیده شود، از ابزارهای اولیه خاکورزی می‌باشد که در خاک شیاری ایجاد کرده خاک را از زمین بلند می‌کند و برمی‌گرداند و بدین ترتیب سبب زیر خاک شدن همه یا قسمتی از بقایای گیاهی، تهویه خاک، افزایش نفوذ و جریان آب در خاک، اختلاط کودهای شیمیایی، دامی و سبز با خاک و اختلاط و از بین بردن علف‌های هرز می‌شود و این ابزار پر استفاده‌ترین ابزار خاکورزی تا پایان قرن بیستم بوده است (منصوری راد، ۱۳۷۸).

### ۲-۵-۲- کولتیواتور

کولتیواتورهای مزرعه برای تهیه بستر بذر، آیش تابستانه، خاکورزی پوشش دار و ناهموار کردن مزرعه به منظور افزایش جذب رطوبت و جلوگیری از فرسایش آبی و بادی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. کولتیواتورها بیش‌تر بقایای گیاهی را در سطح خاک به جای می‌گذارند و یا آنها را تا عمق چند سانتی‌متری، با خاک سطحی مخلوط می‌کنند.

کولتیواتورها از ابزارهای ثانویه خاکورزی می‌باشند و تنها در مواردی خاص در صورتی که وضعیت

خاک اجازه دهد می‌توانند جایگزین گاوآهن‌های چیزل و برای اجرای خاکورزی اولیه بکار روند. عمق کار کولتیواتورها به شرایط خاک، نتایج مطلوب خاکورزی و نوع ابزار خاک‌ورز بستگی دارد (منصوری راد، ۱۳۷۸).

### ۲-۵-۳- دیسک

از هرس‌های بشقابی یا دیسک‌ها در تمام شرایط مختلف خاک استفاده می‌شود. هرس‌های بشقابی سنگین برای انجام خاکورزی اولیه از قبیل خرد کردن زمین‌های بایر و قطع کردن بقایای گیاهی سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند.

عملیات خاکورزی ثانویه از قبیل تهیه بستر بذر، اختلاط کودها و از بین بردن علف‌های هرز به وسیله هرس‌های بشقابی سبک تا متوسط، یا به وسیله هرس‌های بشقابی سنگین که بطور صحیح، تنظیم شده‌اند انجام می‌گیرد. در صورتی که هرس‌های بشقابی دارای وزن و استحکام کافی باشند، می‌توانند در خاک‌هایی نفوذ کنند که سایر ادوات نمی‌توانند عمل نمایند. هرس‌های بشقابی همچنین برای استفاده در زمین‌هایی که دارای سنگ‌های زیاد می‌باشند مناسب هستند. با توجه به موارد استفاده متعدد دیسک، این وسیله بعد از گاوآهن برگرداندار، از مهم‌ترین ماشین‌های خاکورزی محسوب می‌شود (منصوری راد، ۱۳۷۸).

### ۲-۵-۴- چیزل

گاوآهن‌های چیزل برای نفوذ در خاک‌های سخت، شکستن لایه‌های سخت و خرد کردن کلوخ‌های بزرگ ساخته می‌شوند. سطح خاک خرد شده و برای دریافت و نگهداری باران و مقاومت در مقابل فرسایش بادی خاک به جای گذارده می‌شود. بیشتر بقایا در سطح خاک باقی می‌مانند تا در کاهش تبخیر و فرسایش خاک کمک نمایند. گاوآهن‌های چیزل ممکن است تنها برای خراش دادن سطح خاک یا به منظور کار در ۴۵ سانتی‌متر یا بیشتر مورد استفاده قرار گیرند که این امر بستگی به طرح گاوآهن و میزان خاشاک بستگی دارد (منصوری راد، ۱۳۷۸).

## ۲-۵-۵- گاوآهن‌های دوار (روتیواتور)

گاوآهن‌های دوار به هیچ وجه خاک را بر نمی‌گردانند بلکه فقط خاک را تا عمق معینی بریده و مخلوط می‌کنند و هنگام کار با روتیواتور هیچگونه شیار یا پشته‌ای به‌جای نمی‌ماند. از روتیواتورها جهت خرد کردن ساقه بقایای گیاهی و مخلوط کردن آنها با خاک، عملیات وجین و سله شکنی زراعت محصولاتی را که به طور ردیفی کشت می‌شوند و بهم زدن خاک به هنگام کشت نواری استفاده می‌شود (منصوری راد، ۱۳۷۸).

## ۲-۶- تأثیر خاکورزی بر خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک

تولید عملکرد مطلوب به طور مستقیم به میزان بارندگی و ذخیره رطوبت در خاک بستگی دارد. سیستم خاکورزی به طور مستقیم بر ذخیره رطوبتی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر می‌گذارد (دی ویتا و همکاران، ۲۰۰۷). انتخاب سیستم مناسب خاکورزی در نهایت عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (سینگر و همکاران، ۲۰۰۴).

حالت فیزیکی خاک نقش مهمی در سبز شدن بذر، رشد و توسعه ریشه گیاه و تولید محصول دارد. آثار مفید یک محیط فیزیکی خوب شامل تهویه مناسب، حرکت مناسب آب در خاک، تنظیم دما برای رشد ریشه و رطوبت کافی برای رشد گیاه می‌باشد. در این زمینه، مهم‌ترین عامل، فضای خالی یا خلل و فرج خاک است. در مورد خلل و فرج خاک، دو ویژگی فیزیکی بافت و ساختمان، مهم هستند، که اولی تقریباً تغییر چندانی نمی‌کند و از خواص ذاتی خاک است، در صورتی که ساختمان خاک، یک ویژگی متغیر و بسیار تأثیرپذیر است، که فرایندهای مختلف آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این فرایندها شامل انقباض و انبساط، خشک و مرطوب شدن، یخ زدگی و ذوب شدن، عملیات خاک‌ورزی و تراکم است (آلیوکو و همکاران، ۲۰۰۰).

عملیات خاکورزی سنتی با استفاده از گاوآهن برگردان دار، افزون بر آسیب رساندن به بافت خاک، ممکن است موجب افت عملکرد محصول نیز شود. در برخی مناطق دیم که اجرای تناوب غلات و

حبوبات مرسوم است، اجرای عملیات خاکورزی باعث افزایش مقاومت کششی می‌شود (شارما و همکاران، ۲۰۱۱).

در حالی که در سامانه‌های خاکورزی حفاظتی اعم از بدون خاکورزی و کم‌خاکورزی مقداری از بقایای کشت پیشین روی سطح خاک حفظ می‌شود. لذا افزون بر افزایش مواد آلی خاک و حفظ بیشتر رطوبت خاک، مسئله‌ی فرسایش خاک نیز کاهش می‌یابد. در خاک‌های زراعی هر سال مقادیر شایان توجهی از مواد غذایی خاک به صورت محصول یا کاه و کلش از زمین خارج می‌شود و در نتیجه منابع تأمین انرژی و مواد غذایی به ویژه مواد آلی در خاک دچار کاهش شده و در نهایت حاصلخیزی خاک کاهش می‌یابد. حفظ بقایای گیاهی در خاک اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا امکان حفظ بیشتر رطوبت در خاک و بالا بردن ماده‌ی آلی خاک را فراهم می‌آورد. در تحقیقی برای دستیابی بهتر تولید پایدار، مشخص شد حفظ دست کم نیمی از بقایای گیاهی در سطح خاک ضروری است (فورستال و همکاران، ۲۰۱۴).

بقایای گیاهی در یک محیط اشباع از بخار آب می‌توانند هم وزن خود آب جذب کنند، بنابراین حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک برای ایجاد محیطی مناسب برای نفوذپذیری آب در خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک به ویژه در مناطق دیم بسیار مؤثر است. خاکورزی بر بیشتر ویژگی‌های خاک مانند دما، پراکنش رطوبت و تراکم خاک تأثیر دارد و گزینش و اجرای بهینه‌ی یک سامانه‌ی خاکورزی مناسب می‌تواند بستر مناسبی برای بذر فراهم آورده و در نهایت منجر به ایجاد عملکرد مطلوب می‌شوند (یونسی الموتی و همکاران، ۱۳۹۴). هرچند سامانه‌های خاکورزی مرسوم با شکستن لایه‌های نفوذناپذیر خاک و قطع چرخه‌ی زندگی علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها بستری مناسبی برای رشد گیاه فراهم می‌کنند (لل و مالومبا، ۲۰۰۸). ولی این سامانه‌ها هم به انرژی زیادی نیاز دارند و هم در دراز مدت ویژگی‌های فیزیکی خاک را تخریب می‌کنند (شارما و همکاران، ۲۰۱۱). استفاده از ادوات عملیات خاکورزی سنتی با عمق کار بیشتر به دلیل افزایش مقاومت کششی، موجب هدر رفت انرژی نیز می‌شود (شارما و همکاران، ۲۰۱۱).

مدل‌های مدیریت ماشین‌های کشاورزی معمولاً به منظور انتخاب بهینه این ماشین‌ها و کاهش هزینه‌های عملیاتی برای انجام کارهای کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. عوامل زیادی در ایجاد این مدل‌ها نقش دارند که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به ماشین‌های در دسترس، سطح زیرکشت، نوع محصول و تناوب زراعی اشاره کرد (روتس و هاریگان، ۲۰۰۵).

در نظام‌های زراعی، کاهش عملیات شخم به دلیل محدودیت زمان در آماده‌سازی بستر بذر و کاهش هزینه‌های تولیدی، حفظ یا افزایش کیفیت خاک ضروری است (کوثری مقدم و همکاران، ۱۳۹۵).

انتخاب نوع ادوات برای خاکورزی مناسب بر اساس شرایط هر منطقه از جمله آب و هوا، نوع خاک، نوع بقایای گیاهی و قدرت کششی در دسترس در بسیاری از مناطق دنیا و از جمله در ایران نیاز به بررسی و پژوهش دارد. روش مطلوب تهیه زمین، روشی است که با کمترین تردد ماشین در زمین و صرف زمان، انرژی و هزینه کمتر انجام شود. این روش می‌تواند در عملکرد نهایی محصول تأثیر بسزایی داشته باشد (حبیبی اصل و گیلانی، ۱۳۹۳).

لیموسین و تسیر (۲۰۰۷) به بررسی اثرات نظام بدون خاکورزی و خاکورزی متداول (عمق ۲۰ سانتیمتر) بر روی خواص شیمیایی خاک پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که خاکورزی متداول ماده‌آلی را اکسید می‌کند و سرعت معدنی شدن آن را افزایش می‌دهد.

جابرو و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که عمل خاکورزی سبب کاهش چگالی ظاهری و پایداری خاکدانه‌ها خواهد شد. موسوی و همکاران (۱۳۹۱) در آزمایشی ۱۱ ساله گزارش نمودند که ذخیره رطوبتی خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر برای گندم زمستانه و در روش بدون خاکورزی، ۶۰ میلی‌متر و برای روش متداول ۵۵/۸ میلی‌متر بود و در مجموع ذخیره رطوبتی در روش بدون خاکورزی ۱۹/۲ درصد بهبود یافته بود.

حیدری (۱۳۹۰) تأثیر روش‌های خاکورزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و عملکرد گندم آبی را در خاکورزی عمیق مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که اثر روش‌های مختلف خاکورزی بر مقاومت

مکانیکی خاک و عملکرد و اجزای عملکرد گندم معنی‌دار نبوده در حالیکه تأثیر معنی‌داری بر روی سرعت نفوذ آب و جرم ویژه ظاهری خاک داشته است.

طباطبایی و همکاران (۱۳۹۰)، مطالعه‌ای پیرامون اثر سیستم‌های خاکورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای انجام دادند. این محققین با در نظر گرفتن سه روش خاکورزی، کشت مستقیم، کشت با انجام حداقل خاکورزی و کشت با انجام خاکورزی کامل به آزمایشات خود پرداختند، نتایج نشان دهنده آن بود که با افزایش شدت خاکورزی، عملکرد محصول کاهش می‌یابد ولی بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

افضلی‌نیا و همکاران (۱۳۹۷) مطالعه‌ای را تحت عنوان اثر خاکورزی حفاظتی بر تراکم خاک را در طی دوره رشد ذرت به انجام رساندند. تیمارهای مد نظر در این تحقیق سه روش خاکورزی شامل خاکورزی مرسوم، خاکورزی کاهش یافته و بی‌خاکورزی و سه عمق خاک شامل ۰-۱/۱، ۰-۱/۲ و ۰-۱/۳ متر بود نتایج نشان داد که شاخص مخروطی تحت تأثیر روش‌های خاکورزی و عمق خاک، تغییرات معنی‌داری داشته است و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به روش بی‌خاکورزی و عمق سوم بوده است.

دی‌ویتا (۲۰۰۷) در آزمایش خود نشان دادند که افزایش عمق شخم منجر به کاهش درصد کربن‌آلی خاک می‌گردد. انواع مختلف گاواهن تأثیر متفاوتی روی خلل و فرج خاک ایجاد می‌کند. با توجه به نقش بسیار مهم رطوبت در تولید عملکرد در زراعت دیم باید از ادواتی جهت خاکورزی استفاده نمود که کمترین تلفات رطوبتی ایجاد می‌کنند.

موسوی و همکاران (۱۳۹۶) در آزمایش خود نشان دادند که توسعه و تراکم طول ریشه گندم به طور معنی‌داری تحت تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی قرار می‌گیرد. محققان بسیاری از جمله خسرو محمدی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش نموده‌اند که استفاده از گاواهن برگرداندار به افزایش تلفات رطوبت خاک و در نهایت به کاهش عملکرد دانه منجر می‌گردد. در مقابل سیستم بدون خاکورزی منجر به کاهش تبخیر و رواناب شده است.

خسرو محمدی و همکاران (۱۳۹۰) نیز گزارش نمودند که وزن مخصوص ظاهری خاک‌های شخم زده شده با گاوآهن قلمی به میزان ۴ تا ۲۵ درصد بیشتر از خاک‌هایی بود که در آن‌ها عملیات خاکورزی انجام نشده بود.

باسچر و همکاران (۲۰۰۰) در تحقیقی نشان دادند که خاکورزی عمیق در شروع هر فصل زراعی شاخص مخروطی، را کاهش و عملکرد را افزایش داد. همچنین با کاهش هر مگا پاسگال شاخص مخروطی عملکرد گندم، ۱/۵ تا ۱/۷ تن در هکتار و سویا ۱/۱ تا ۱/۸ تن در هکتار افزایش یافت. موسوی بوگر و همکاران (۱۳۹۶) به منظور بررسی تاثیر روش‌های مختلف خاکورزی و میزان رطوبت خاک بر توزیع اندازه خاکدانه در خاک‌های شخم خورده تا عمق ۲۵۰ میلی‌متری، آزمایشهایی در دو نوع خاک لومی و لوم رسی سیلتی در منطقه نیمه خشک جنوب غربی ایران انجام دادند و نتیجه گرفتند که توزیع اندازه خاکدانه شخم خورده به وسیله سیستم‌های مختلف خاکورزی با توجه به نوع خاک و محتوی رطوبت خاک تغییر می‌کند. در خاک لوم رسی سیلتی، تیمارهای شخم با گاوآهن برگردان+دیسک و شخم با گاوآهن بشقابی+دیسک در رطوبت ۰/۸ خمیری حد خاک، و در تیمارهای دیسک افست + دیسک و در رطوبت ۰/۷ حد خمیری خاک، بیش‌ترین نسبت خاکدانه‌های با اندازه کوچکتر از ۵ میلی‌متر و کمترین نسبت خاکدانه با اندازه بزرگتر از ۲۵ میلی‌متر به دست آمد. در خاک لومی، بیشترین درصد خاکدانه‌های کوچکتر از ۵ میلی‌متر، در تیمارهای برگرداندار+دیسک با رطوبت ۰/۷ حد خمیری خاک، و در تیمار گاوآهن+دیسک با رطوبت ۰/۸ حد خمیری خاک حاصل می‌گردد.

تحقیقات آیکاس و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که وزن، سرعت و زاویه برش در گاوآهن بشقابی و اثرات متقابل آن‌ها، تأثیر معنی‌داری بر مقاومت کشش بشقاب‌ها داشته و افزایش هر یک از سه فاکتور، باعث افزایش مقاومت کششی گردید. و اندازه کلوخه‌های خاک تنها متأثر از تغییرات زاویه بشقاب بود و رابطه مستقیمی با زاویه بشقاب داشت.



## ۲-۷- اهمیت کودهای آلی و حفظ آن

کشاورزی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک همواره با مشکلات زیادی رز به رو بوده است. از جمله مشکلات اساسی در این اراضی می‌توان به کمبود ماده آلی خاک اشاره نمود. یکی از راههای بهبود خواص خاک در این مناطق افزودن مواد آلی از منابع گوناگون به خاک می‌باشد. از سوی دیگر هر سال حجم وسیعی از پسماندهای گیاهی تولید می‌گردد که مدیریت آن‌ها با دشواری‌هایی همراه می‌باشد. با این حال این پسماندها دارای مقادیر زیادی مواد آلی و عناصر غذایی بوده که افزودن آن‌ها به خاک از جنبه‌های مختلف تغذیه‌ای و فیزیکی می‌تواند برای خاک‌ها سودمند باشد. کودهای آلی پارامتر تأثیرگذار بر تخلخل، ظرفیت نگهداری آب موجود در خاک و نهایتاً منحنی مشخصه رطوبتی خاک می‌باشد (درستکار و والی، ۱۳۹۶).

در خاک‌های زراعی، هر سال مقادیر شایان توجهی از مواد غذایی خاک به صورت محصول یا کاه و کلش از زمین خارج می‌شود و در نتیجه منابع تأمین انرژی و مواد غذایی به ویژه مواد آلی در خاک دچار کاهش شده و در نهایت حاصلخیزی خاک کاهش می‌یابد و باعث کاهش فعالیت میکروبی خاک و انتشار دی‌اکسید کربن می‌گردد. حفظ بقایای گیاهی در خاک‌های کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا امکان حفظ بیشتر رطوبت در خاک و بالا بردن ماده آلی خاک را فراهم می‌آورد (فورستال، ۲۰۱۴).

منابع سنتی و محدود مواد آلی جواب‌گوی نیاز روزافزون بخش کشاورزی به کود آلی نیست. از این رو استفاده از موادی نظیر ضایعات کشاورزی و مواد زائد صنعتی، به عنوان منابع تأمین‌کننده مواد آلی خاک رو به گسترش است. برخی از این مواد زائد قبل از استفاده در زمین‌های کشاورزی، باید به منظور کاهش خطرات زیست محیطی آن‌ها، مورد بررسی قرار بگیرند (بای بوردی و همکاران، ۱۳۸۳).

افزودن کودهای آلی به خاک باعث بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و باعث افزایش مقاومت گیاهان به شرایط کم آبی، بیماری‌ها و آفات شده و همچنین سبب اسفنجی شدن بافت خاک و افزایش نفوذپذیری و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود (رضایی چیا، ۱۳۹۴).

ماده آلی به عنوان یک عامل سیمانی عمل می‌کند و برای همآوری ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌های مقاوم اهمیت داشته و نیروی چسبندگی بیشتر به واسطه تشدید نیروهای هم‌چسبی بین ذرات معدنی و پلی‌مرهای آلی ایجاد کرده و در نتیجه تخریب و فروپاشی آن‌ها را کاهش می‌دهد (تجادا و همکاران، ۲۰۰۶).

توشیح (۱۳۸۲) نتیجه‌گیری نمود که مدیریت صحیح استفاده از بقایای گندم، یعنی خرد کردن و زیر خاک کردن کاه و کلش باقیمانده بعد از برداشت گندم دیم همراه با نیتروژن خالص از منبع سولفات آمونیوم موجب افزایش معنی‌دار نفوذپذیری خاک و افزایش سولفات خاک در جهت کاهش مضرات ناشی از آهک، افزایش عناصر غذایی و بهبود حاصلخیزی خاک و در نهایت افزایش عملکرد و میزان پروتئین دانه شده و بالعکس سوزانیدن کاه کلش موجب کاهش نفوذپذیری، کاهش میزان سولفات و نیتروژن خاک و در نهایت کاهش عملکرد و درصد پروتئین دانه گردید.

میرزاشاهی و سعادت (۱۳۸۹) افزایش عملکرد دانه و اجزا عملکرد کلزا و نیز افزایش و کاهش به ترتیب کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری خاک در نتیجه مصرف ۵ تن در هکتار کمپوست کود گوسفندی و یا کمپوست باگاس نیشکر را توأم با مصرف بهینه کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم گزارش نمودند.

آد و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که چنانچه مصرف کود نیتروژن توأم با کود حیوانی باشد، علاوه بر جلوگیری از مصرف بیش از حد کود نیتروژن عملکرد اقتصادی ذرت علوفه‌ای افزایش پیدا می‌کند.

در طی پژوهشی که توسط ایکات و همکاران (۲۰۰۶) صورت گرفت مشخص گردید پس از اختلاط بقایا با خاک تقریباً بلافاصله، فرآیند تجزیه بقایا و معدنی شدن نیتروژن آلی موجود در بقایا آغاز می‌گردد. برگشت بقایای سیب‌زمینی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیکی گندم شد ولی در سایر تناوب‌ها زراعی اثر برگشت بقایای بر افزایش عملکرد بیولوژیک گندم معنی‌دار نبود. به نظر

می‌رسد حجم کمتر بقایای سیب زمینی و نسبت C/N پایین و سرعت بالای تجزیه بقایای سیب زمینی عامل بروز این نتیجه باشد.

در مطالعه‌ای که به منظور بررسی اثرات بقایای گیاهی و سطوح کود شیمیایی بر عملکرد گندم توسط مسکرباشی و همکاران (۱۳۸۵) انجام گرفت، نشان داده شد که برگرداندن بقایای گیاهی به خاک قبل از کشت گندم به همراه کاربرد کود در مقادیر زیاد و متوسط اثر معنی‌داری بر کاهش عملکرد گندم ندارد. در این مطالعه برگرداندن یک سوم بقایای گیاهی گندم به خاک همراه با کاربرد ازت به میزان ۱۳۷ کیلو گرم در هکتار برای عملکرد بالا توصیه شده است.

نمز و همکاران (۲۰۰۵) اثر متقابل ماده‌آلی خاک را برای محدوده وسیعی از نمونه خاک‌های با بافت مختلف مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که نهایتاً با افزایش مقدار ماده‌آلی خاک هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش می‌یابد.

در مطالعات دوتانیا (۲۰۱۳) در سیستم کشت برنج - گندم مشاهده کردند در اثر بازگرداندن بقایا به خاک میزان نیتروژن جذب شده ۱۲۳/۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت، که حدود ۸/۵ درصد بیشتر از زمانی بود که بقایای گیاهی حذف و ۴/۹ درصد بیشتر از زمانی بود که بقایای گیاهی سوزانده شدند. در آزمایشی که زیتین و آران (۲۰۰۳) در اسپانیا منظور بررسی اثر کمپوست روی خواص فیزیکی خاک انجام دادند، مشخص شد که با اضافه کردن کمپوست به خاک، درصد تخلخل افزایش و جرم مخصوص ظاهری خاک نسبت به شاهد کاهش پیدا می‌کند.

بهارلویی و موسوی (۱۳۹۵) نشان داد که مقدار جرم مخصوص حقیقی با کاربرد ۴۰ تن کمپوست و لجن فاضلاب به ترتیب ۳۹/۶۵ و ۳۶/۹۵ در صد کاهش نسبت به شاهد داشته است.

جعفری و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه خاک‌های استان خوزستان نشان دادند که بین ویژگی‌های مؤثر بر پایداری خاکدانه‌ها بیشترین نقش را ماده آلی داشت. به طوری که میزان کشت تناوبی و نیشکر با افزایش ماده آلی در این اراضی به ترتیب ۴/۱ و ۲/۱ و ۳/۰۷ در بخش‌های شمالی استان تغییر یافته بود.

میلر و همکاران (۲۰۰۰) در تحقیقات خود نشان دادند که اضافه نمودن مقدار کمی بقایای گیاهی در مقایسه با سوزاندن کامل بقایا عملکرد ذرت را بیش از ۵۰ درصد بهبود می‌بخشد. این افزایش عملکرد در نتیجه کاهش در تلفات روان آب (تا ۵۰ درصد) و آبشویی عناصر (تا ۸۰ درصد) و نیز بهبود توزیع آب و عناصر غذایی در تمام طول رشد گیاه (تا ۸۰ درصد حاصل شد).

## ۲-۸- انواع کودهای آلی

### ۲-۸-۱ کود گاوی

کود گاوی منبع با ارزشی جهت بهبود وضعیت خاک می‌باشد که مقادیر مناسبی از عناصر پر مصرف و کم مصرف را برای گیاه تأمین می‌کند و جایگزین کم هزینه‌ای برای کودهای معدنی می‌باشد. دام‌ها قادر به جذب تمام مواد غذایی علوفه نیستند و معمولاً ۷۵ تا ۹۰ درصد عناصر غذایی که در علوفه و غذای دام وجود دارد از طریق فضولات دفع می‌شود (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۷). کود دامی علاوه بر افزایش عناصر غذایی خاک، مواد آلی آن را نیز افزایش داده و سلامت خاک را بهبود می‌بخشد. کود دامی می‌تواند تمام یا بخش اعظم نیتروژن مورد نیاز گیاه و همچنین فسفر، پتاسیم و عناصر ریز مغذی را نیز تأمین نماید و علاوه بر تأمین نیاز تغذیه‌ای گیاه منجر به بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود (پرات، ۱۹۸۲).

کودهای دامی که حاوی اکثر عناصر مورد نیاز گیاهان هستند، جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی می‌باشند، زیرا علاوه بر وجود عناصر پر مصرف، به مقدار کمتری دارای ریزمغذی‌ها می‌باشند و خاک را در دراز مدت در جهت تعادل پیش خواهند برد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳). همچنین کودهای دامی به علت اینکه به آهستگی آزاد شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، آلودگی کمتری را در محیط زیست ایجاد می‌کنند. آزاد سازی نیتروژن قابل دسترس، در شرایط استفاده از کود دامی می‌تواند بیشتر با نیاز گیاه همزمان باشد.

خاک‌هایی که کود حیوانی دریافت کردند، نسبت به خاک‌هایی که با کودهای غیرآلی تغذیه شدند،

میکروارگانسیم‌های خاکزی، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و نیترات بیشتری داشتند. کاربرد بیش از حد این کودها می‌تواند منجر به تجمع املاح اضافی در خاک شود. اکثر خاک‌های زراعی کشور از نظر ماده آلی فقیر می‌باشند. استفاده از کودهای آلی راه‌کاری مناسب در جهت افزایش عملکرد محصول می‌باشند (توحیدلو، ۱۳۸۰).

## ۲-۸-۲ کمپوست

تهیه کود آلی کمپوست، یک فرآیند تجزیه بیولوژیک است که طی آن مواد آلی تحت شرایط کنترل شده به محصول پایدار و تثبیت شده شبه هیومیکی تبدیل می‌شوند. در این فرآیند، میکروارگانسیم‌ها، مواد قابل تجزیه بیولوژیکی موجود در مواد زاید را هم به عنوان منبع انرژی استفاده می‌نمایند. معمولاً مواد زاید دارای انواعی از میکروارگانسیم‌های موجود در هوا، آب و خاک هستند. بنابراین در جریان تهیه و عمل‌آوری کود کمپوست هر یک از گروه‌های میکروبی بخشی از فعالیت‌های اصلی را انجام می‌دهند. یعنی هر گروه جزء ویژه‌ای از مواد آلی را تحت تأثیر و مورد تجزیه قرار می‌دهند. تجزیه مواد آلی در توده مواد زاید در نتیجه فعالیت باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینومایست‌ها و تک یاخته‌هایی می‌باشد که در داخل آن قرار داشته یا از طریق اتمسفر وارد آن می‌شوند، پارامترهای گوناگونی بر کارایی و بازدهی فرآیند کودسازی و کیفیت محصول تولیدی مؤثر می‌باشند (امویی و همکاران، ۱۳۸۸).

تجزیه و تثبیت مواد آلی بوسیله اعمال و فرایندهای بیولوژیکی طبیعی از بدو پیدایش حیات در روی کره زمین تاکنون ادامه داشته است. در عصر حاضر انسان توانسته است با کنترل عوامل و شرایط عمل‌آوری کود کمپوست، فرآیند تثبیت مواد آلی را تسریع نموده تا بتواند از آن در دفع بهداشتی پسماندها استفاده نماید. در فرآیند تولید کود کمپوست، باکتری‌ها، قارچ‌ها، مخمرها و سایر ارگانسیم‌ها بر روی مواد آلی نظیر پسماندهای غذایی، فضولات حیوانی و انسانی و نیز سایر زباله‌های آلی تغذیه نموده و باعث تثبیت این مواد به شکل محصول با ارزش کود کمپوست حاوی انواع ترکیبات مغذی آلی و معدنی و موثر در رشد گیاهان و محصولات کشاورزی می‌گردد (امویی و همکاران، ۱۳۸۸).

## ۲-۸-۳- کود سبز

کود سبز به گیاهانی گفته میشود که به منظور بهبود وضعیت خاک کشت می شوند و معمولاً قبل از رسیدگی و در مواردی نیز پس از رسیدگی فیزیولوژیک به خاک برگردانده می شوند (تاج بخش و همکاران ۱۳۸۴). به عبارتی دیگر، به کودی که در نتیجه کشت گیاهان معمولاً از خانواده بقولات و زیر خاک کردن آنها به وجود می آید و موجب تقویت حاصلخیزی خاک می شود، کود سبز می گویند (مظاهری و همکاران ۱۳۸۲).

بدون شک برای داشتن یک محصول خوب، میزان مواد آلی خاک باید در سطح رضایت بخشی حفظ شود. یکی از اثرات کود سبز تأمین ماده آلی خاک می باشد، بخصوص زمانی که کود حیوانی کافی در دسترس نباشد و بقایای گیاهی بجا مانده در زمین در حدی نباشد که بتواند مقدار هوموس خاک را در حد مطلوبی نگه دارد.

کود سبز یک روش دیرینه در کشاورزی است که اعمال آن فواید زیادی را به همراه دارد. یک هکتار کود سبز معمولاً ۲۰ تا ۵۰ شاخه، برگ و انساج گیاهی تازه تولید میکند و این بقایا را وارد خاک می کند که حدوداً برابر ۱۰ تا ۲۰ تن کود حیوانی است و این مواد حدوداً ۲ تن هوموس به خاک می افزایند. بالا رفتن هوموس باعث تشکیل خاکدانه می شود و لوله های مویین خاک بیشتر شده و تهویه و نفوذپذیری خاک افزایش می یابد (حسن زاده، ۱۳۸۸).

در حقیقت کودهای سبز چه لگوم چه غیر لگوم باشند مانند یک گاوصندوق عمل میکنند که مواد غذایی را در زمانی که گیاه محصول در زمین نیست، در خود نگهداری کرده و آنرا در اختیار گیاه محصول قرار می دهد (علیزاده، ۱۳۸۹). کود سبز می توانند گیاهان زراعی یکساله، دو ساله و یا چند ساله باشند که به صورت خالص یا مخلوط در طول یا قسمتی از سال کشت می گردند. هدف نهایی از کاربرد کود سبز ضمن اصلاح خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، بالا بردن عملکرد محصولات زراعی و باغی است (فاجریا و همکاران ۱۹۹۱).

برگشت گیاهان کود سبز در خاک باعث افزایش کربن و مواد آلی و نیتروژن کل و حاصلخیزی خاک شده که این پدیده در نتیجه فرایندهای میکروبیولوژیکی اتفاق افتاده و باعث آزادسازی عناصر غذایی گیاهان می‌شود (تالگری و همکاران ۲۰۰۹).

کود سبز از دیرباز برای بهبود ساختمان خاک از طریق بهبود کیفیت خاکدانه‌ها و هدایت هیدرولیکی خاک، تجمع مواد آلی، حفظ خاک از فرسایش در دوره‌هایی که قرار است خاک بدون پوشش گیاه باقی بماند، جلوگیری از طوفان، گرد و غبار و کمک به تثبیت خاک استفاده شده است (بیدریک و همکاران، ۱۹۹۴). کود سبز و کاربرد مواد آلی که غنی از نیتروژن هستند، نیز ضمن کمک به تغذیه محصولات زراعی، در درازمدت سلامت خاک را به شکل چشمگیری بهبود می‌بخشند.

## ۲-۹- تأثیر مواد آلی در سیستم‌های مختلف خاکورزی بر عملکرد و خصوصیات خاک

ماده آلی قلب کشاورزی پایدار می‌باشد. در کشاورزی پایدار تمرکز بر سیستمی است که در آن تولید پایدار اقتصادی باشد. از این منظر خاک بایستی از قابلیت لازم برای نشان دادن کارکرد خوب برخوردار باشد. ماده آلی به این کارکردها کمک معنی‌داری می‌نماید. به عبارتی ماده آلی یک شاخص مهم کیفیت خاک می‌باشد (بالسدنت و همکاران، ۲۰۰۰).

محدودیت و کمبود منابع آب و افزایش قیمت سوخت و کودهای شیمیایی (به ویژه با حذف یارانه‌ها) نیز موجب افزایش هزینه‌های تولید خواهد شد. استفاده از سیستم‌های کشاورزی با حفظ بقایا و بدون خاکورزی در حال حاضر در سطح دنیا به بیش از صد میلیون هکتار رسیده است و در شرایط اقلیمی مختلف و انواع خاکها به اجرا در آمده است. مثلاً در مناطقی با بارندگی بیش از ۲۵۰۰ میلی‌متر تا مناطقی بسیار کم باران با بارندگی کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در حال توسعه می‌باشد (ورهالت و همکاران، ۲۰۱۰).

در تحقیقی که توسط احمدی مقدم و همکاران (۱۳۹۵) انجام گرفت مشخص شد که تیمارهای خاکورزی با حفظ بقایا در مقایسه با تیمار خاکورزی بدون حفظ بقایا باعث افزایش معنی‌دار مقدار

ماده آلی خاک و پایداری خاکدانه‌ها و کاهش معنی‌دار میزان فرسایش خاک گردید.

در تحقیقی که توسط کمیلی و همکاران (۱۳۹۵) مشخص گردید اعمال سیستم‌های مختلف خاکورزی اثر معنی‌داری بر عملکرد کمی و کیفی گندم نداشت، ولی اعمال خاکورزی با حفظ بقایا موجب تغییرات زیستی در عمق مشخصی از خاک گردید.

لامپورلاس و همکاران (۲۰۰۶) با تحقیق بر روی اثر سه نوع روش خاکورزی عمیق، خاکورزی حداقل و بی‌خاکورزی و بقایای گیاهی بر هدایت هیدرولیکی و ناهمواری سطحی صورت گرفت به این نتیجه رسیدند که با بیشتر شدن شدت خاکورزی، هدایت هیدرولیکی و ناهمواریهای سطحی افزایش و بقایای گیاهی کاهش می‌یابد.

افتخاری (۱۳۹۲) تحقیقاتی را در رابطه با تأثیر مدیریت بقایای گیاهی گندم بر روی عملکرد ذرت آبی در سیستم خاکورزی کاهش یافته که به صورت تناوب زراعی کشت می‌شوند، انجام دادند. تیمارهای مدنظر در این تحقیق شامل کاشت ذرت پس از سوزاندن بقایای گیاهی گندم، کاشت پس از جمع‌آوری کامل بقایا و کاشت پس از اختلاط بقایا با خاک با درصدهای مختلف بود. نتایج نشان دهنده این بود که بیش‌ترین درصد عملکرد محصول مربوط به تیماری است که در آن بقایای گیاهی گندم به مقدار ۲۵ الی ۵۰ درصد با خاک مخلوط شده است.

هودیانی مهر و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقاتی در رابطه با پاسخ فیزیکی خاک به خاکورزی و مدیریت بقایا در دو نوع خاک منطقه سردسیری انجام دادند. تیمارهای به کار گرفته شده در این تحقیق شامل دو سطح خاکورزی (بی‌خاکورزی و خاکورزی توسط تیلر دوار) و دو سطح بقایای گیاهی (بدون بقایا و همراه با بقایای سطحی) در دو نوع خاک بوده است. نتایج نشان داد که در هر دو نوع خاک، چگالی ظاهری خشک و مقاومت به نفوذ در سیستم بی‌خاکورزی بیشتر از سیستم خاکورزی شده بود. کمترین فرسایش بادی متعلق به سیستم بی‌خاکورزی همراه با بقایای سطحی مشاهده شد.

در پژوهشی کمیلی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که روش‌های خاکورزی، بر تعداد سنبله در متر مربع و مقادیر بقایای گیاهی بر تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته در هر دو سال تأثیر



معنی‌دار داشت. حداکثر عملکرد دانه در تیمار خاکورزی با حفظ بقایا بدست آمد. در صد کربن آلی و نیتروژن خاک با افزایش مقادیر بقایا افزایش یافت.

کمیلی و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که اثر بقایا در سطح ۵ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد، در حالیکه اثر خاکورزی بر عملکرد تأثیر معنی‌دار نداشته و معمولا اثر خاکورزی بر رشد محصول از طریق تغییر در خصوصیات خاک حاصل می‌شود که این تغییر روند به آرامی صورت می‌گیرد.



# فصل سوم: مواد و روشها

### ۱-۳ مشخصات محل آزمایش

این آزمایش در سال زراعی ۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود با عرض جغرافیایی ۳۶/۲۵ درجه و طول جغرافیایی ۵۴/۵۷ درجه و ارتفاع ۱۳۴۵ متر از سطح دریا، انجام گرفت.

### ۲-۳- شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش

مزرعه دانشکده کشاورزی در ۷ کیلومتری شاهرود و در نزدیکی بسطام واقع است. از نظر اقلیمی جزء مناطق سرد و خشک بوده و دارای زمستانی سرد می‌باشد. بر اساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی میانگین سالانه هوا در این منطقه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه ۱۶۰ میلی‌متر گزارش شده است.

### ۳-۳ مشخصات خاک مزرعه آزمایشی

برای بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از عملیات اجرایی طرح، از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک در ده نقطه از خاک مزرعه نمونه‌برداری صورت گرفت. و در نهایت یک نمونه یک کیلوگرمی از خاک که از اختلاط نمونه‌های برداشت شده به دست آمده بود به آزمایشگاه منتقل گشت. برخی ویژگی‌های اولیه شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول ۱-۳ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱- ویژگی‌های اولیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

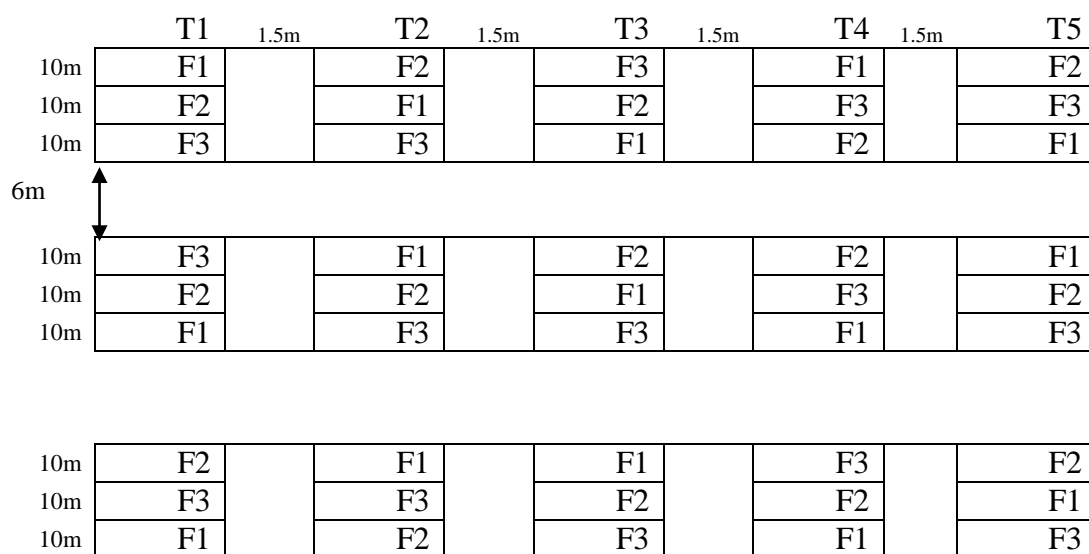
کلاس بافت خاک	شن	رس	ماده آلی	هدایت الکتریکی
	درصد	درصد	درصد	دسی‌زیمنس بر متر
لوم سیلتی	۸/۵۱۶	۶/۱۴۴	۰/۶۶	۴/۴

#### ۳-۴- مشخصات طرح آزمایش

این مطالعه به صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل پنج سطح خاکورزی به صورت (گاواهن برگردان دار، گاواهن برگردان دار+ دیسک، گاواهن برگردان دار+ روتیواتور، گاواهن برگردان دار+ کولتیواتور و چیزل) به عنوان عامل اصلی و تیمار کود گاوی و ضایعات ذرت و یک تیمار شاهد بدون بقایا به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد.

#### ۳-۵- مشخصات کرت‌ها

در طرح آزمایشی اسپلیت پلات مورد مطالعه، کرت اصلی (نوع شخم) در پنج سطح، کرت فرعی (نوع کود) در ۳ سطح و در سه بلوک کامل تصادفی، مجموعاً با ۴۵ کرت خرد شده در نظر گرفته شد. مساحت هر کرت خرد شده ۶۰ متر مربع (۶ متر عرض و ۱۰ متر طول) در مجموع با مساحتی معادل ۲۷۰۰ متر مربع بود. همچنین بین هر کرت اصلی ۱/۵ متر و بین هر بلوک ۶ متر فاصله در نظر گرفته شد. هر کرت خرد شده از ده ردیف کاشت به فاصله ۲۵ سانتیمتر به طول ۳۰ متر تشکیل شد. فاصله دو بوته روی خطوط کاشت ۱۰ سانتیمتر و عمق کاشت بذر ۷ سانتیمتر در نظر گرفته شد. مرز بین هر کرت با یک پشته کشت نشده مشخص شد. نقشه کرت‌های خرد شده بر اساس نوع طرح در شکل ۳-۱ آورده شده است.



شکل ۳-۱- شماتیک کرت‌های خرد شده برای طرح آزمایشی اسپلت پلات در مزرعه (T1: برگرداندار، T2: برگرداندار+دیسک، T3: برگرداندار+روتیواتور، T4: برگرداندار+کولتیواتور، T5: چیزل) (F1: کود گیاهی، F2: کود دامی، F3: شاهد)

### ۳-۶ آماده سازی زمین

در ابتدا طرح مورد نظر روی زمین طراحی شد و سپس با توجه به نقشه، در ابتدا اعمال تیمارهای کودی به صورت کود حیوانی به میزان ۲۰ تن در هکتار و ضایعات ذرت (پوشال) به میزان ۲۰ تن در هکتار و کرت شاهد (بدون کود) انجام شد. سپس خاک در پنج سطح خاکورزی به صورت گاواهن برگردان دار، گاواهن برگردان دار+ دیسک، گاواهن برگردان دار+ روتیواتور، گاواهن برگردان دار+ کولتیواتور و چیزل تحت خاکورزی قرار گرفتند. اعمال خاکورزی توسط تراکتور انجام شد. در نهایت پس از اتمام این مرحله جوی و پشته ایجاد شد تا مزرعه آماده عملیات کاشت شود.

جدول ۳-۲- مشخصات کلی ادوات خاکورزی مورد استفاده

مشخصات	نوع خاکورز	گاواهن برگرداندار	چیزل	روتیواتور	دیسک	کولتیواتور
نوع خاکورزی	خاکورزی اولیه	خاکورزی اولیه	خاکورزی اولیه	خاکورزی ثانویه	خاکورزی ثانویه	خاکورزی ثانویه
میزان عمق (سانتی متر)	۲۰ - ۳۰	۲۵-۲۰	۱۵-۱۰	۱۵-۱۰	۱۵-۱۰	۲۵-۱۵
میزان خورد شدن خاک	متوسط	کم	زیاد	متوسط	کم	متوسط
میزان برگردان شدن خاک (به هم خوردن)	زیاد	کم	کم	متوسط	کم	متوسط
نوع اتصال به تراکتور	سوار شونده	سوار شونده	سوار شونده	سوار شونده	سوار شونده	سوار شونده



شکل ۳-۲- نمای کلی از ادوات خاکورزی مورد استفاده (از راست به چپ گاواهن برگرداندار، روتیواتور، کولتیواتور، دیسک و چیزل)

### ۳-۷ عملیات کاشت

عملیات کاشت نخود در ۲۷ فروردین سال ۹۷ با دست و در عمق ۷ سانتیمتری صورت گرفت.

شکل ۳-۲ نمای کلی مزرعه و تیمارهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳- نمای کلی مزرعه

### ۳-۸ عملیات داشت

عملیات داشت در طی تمامی مراحل رشد گیاه به صورت مداوم انجام پذیرفت. آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای و هفتگی انجام شد. مقادیر آب مصرفی بر اساس مدت زمان ورود آب برای تمام تیمارها یکسان بود. طی دوران داشت وجین علفهای هرز به صورت دستی انجام شد.

### ۳-۹ نمونه برداری

پس از سه ماه طی دوره رشد گیاه نمونه برداری از خاک در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متری از سطح صورت گرفت. از هر عمق ۴ نمونه خاک بصورت دست نخورده و کاملاً تصادفی توسط استوانه نمونه برداری و همچنین ۲ نمونه از خاک با حداقل دست خوردگی از هر عمق بصورت کاملاً تصادفی



برداشته شد و به آزمایشگاه انتقال داده شد. استوانه‌ها جهت خشک شدن در آون در دمای ۷۰ درجه و به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. نمونه‌های دست‌خورده خاک هوا خشک شد و از الک ۸ میلی‌متری عبور داده شد.

### ۳-۱۰-۱ اندازه‌گیری متغیرهای فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی

#### ۳-۱۰-۱-۱ چگالی ظاهری

چگالی ظاهری به روش سیلندر (بلیک و هارتج، ۱۹۸۶) اندازه‌گیری شد. در این روش با استفاده از سیلندری با حجم مشخص، نمونه‌های خاک دست‌خورده تهیه و به آزمایشگاه منتقل شدند و به مدت ۲۴ ساعت درون آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. با مشخص بودن حجم استوانه و وزن خاک خشک، چگالی ظاهری خاک محاسبه شد.

#### ۳-۱۰-۱-۲ چگالی حقیقی

برای اندازه‌گیری چگالی حقیقی از روش پیکنومتر استفاده شد (ویسکانسین، ۱۹۸۶).

#### ۳-۱۰-۱-۳ ماده آلی خاک

ماده آلی خاک به روش روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شد (نلسونو سومرز، ۱۹۸۲).

#### ۳-۱۰-۱-۴ رس قابل پراکنش در خاک

برای تعیین میزان رس قابل پراکنش در خاک، نمونه‌برداری از دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری صورت گرفت و میزان ۴ گرم از خاک (کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر) به لوله‌های سانتریفوژ انتقال داده شد و به میزان ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر به هر لوله اضافه گردید و روی شیکر به مدت یک ساعت با سرعت ۹۰ دور در دقیقه تکان داده شد. سپس لوله‌ها به حالت سکون روی میز قرار داده شد و زمان لازم جهت ته‌نشست ذرات سیلت به وسیله قانون استوکس مورد محاسبه قرار گرفت. در زمان مورد نظر

۵ میلی لیتر از سوسپانسیون در عمق ۲/۵ سانتی متر برداشت شد و در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک شد و سپس مقدار رس قابل پراکنش در آب بصورت بخشی از کل خاک مورد استفاده در این آزمایش بدست آمد (برت و همکاران، ۱۹۹۳).

### ۳-۱۰-۵- ساختمان خاک

برای انجام این آزمایش حدود ۵۰ گرم خاک از الک ۸ میلی متری عبور داده شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر اندازه‌گیری شد. ۵۰ گرم خاک بر روی سری الک‌ها با اندازه ۱، ۲، ۴، ۱/۵، ۰/۲۵، ۰/۱ و ۰/۰۵ میلی متری قرار داده شد. الک‌ها با سرعت ۳۰ دور در دقیقه و دامنه نوسان ۱/۳ سانتی متر به مدت ۱۰ دقیقه در آب تکان داده شده و سپس محتویات هر الک پس از خشک شدن توزیع و پس از در نظرگیری مقدار شن در هر بخش، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) از رابطه ۱ محاسبه گردید (کمپر و رزنا، ۱۹۸۶).

$$MWD = \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{W_T} \quad (1)$$

در این رابطه  $X_i$  میانگین قطر خاکدانه‌ها روی هر الک،  $W_i$  جرم خاکدانه‌های روی هر الک و  $W_T$  جرم کل خاکدانه‌ها می‌باشد.

### ۳-۱۰-۶- EC-pH

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ابتدا سوسپانسیونی به نسبت ۱ به ۲/۵ (خاک به آب) تهیه گردید. از محلول حاصل شده عصاره‌گیری کرده و از عصاره بدست آمده EC و pH را با استفاده از دستگاه EC متر و pH متر اندازه‌گیری شد (نلسون و سومر، ۱۹۸۲).

### ۳-۱۰-۷- اندازه گیری مقاومت فروروی خاک

برای اندازه گیری مقاومت فروروی خاک از هر کرت در هر عمق پس از برداشت گیاه نخود به کمک چهار استوانه نمونه برداری با قطر ۴ و ارتفاع ۳ سانتی متر نمونه دست نخورده تهیه شد. اندازه گیری مقاومت فروروی خاک در مکش های ماتریک ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی متر به کمک ریز فرسنگ مخروطی با قطر مخروط ۲ میلی متر با سرعت فروروی یک میلی متر در دقیقه صورت گرفت. قرائت نیرو در فواصل یک میلی متری از سطح خاک تا عمق ۲۵ میلی متری انجام شد. میانگین نیرو پس از حذف قرائت های انجام شده در ۵ میلی متری سطح خاک به کمک میانگین هندسی محاسبه شد و در نهایت مقاومت فروروی خاک محاسبه گردید:

$$Q = \frac{F_{average}}{A} \quad (۲)$$

در این رابطه Q مقاومت فروروی خاک، A سطح مقطع قاعده مخروط و Faverage میانگین نیرو می باشد (داسیلوا و همکاران، ۱۹۹۴).



# فصل چہارم: نتائج و بحث

#### ۴-۱- ماده آلی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داده است که اثر خاکورزی و کودآلی بر ماده آلی خاک در عمق اول در سطح ۵ درصد معنی دار بوده است. در حالی که اثر هیچ یک از پارامترهای مورد بررسی در عمق دوم بر ماده آلی معنی دار نشده است (جدول ۴-۱).

جدول ۴-۱ تجزیه واریانس اثر خاکورزی و کود آلی بر ماده آلی و pH خاک

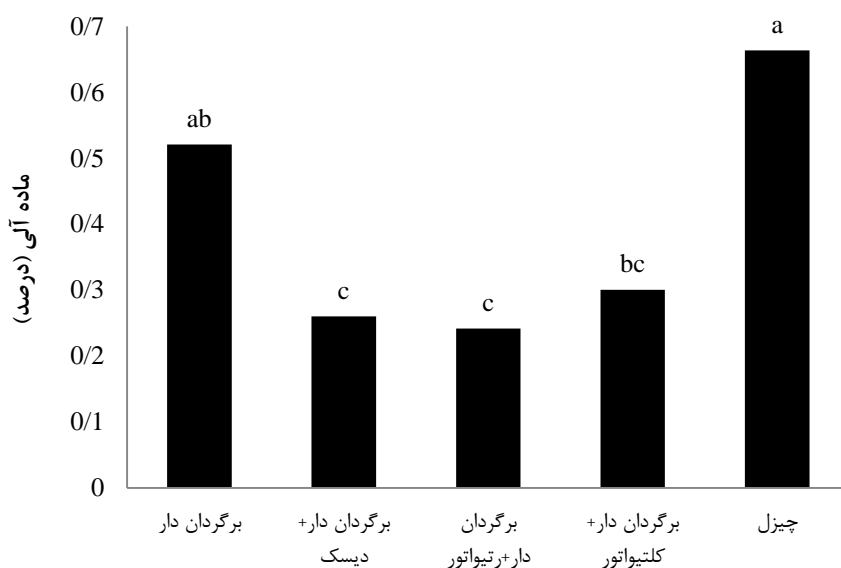
میانگین مربعات				
pH	ماده آلی		درجه آزادی	منبع تغییرات
	۱۰-۲۰ سانتی متر	۰-۱۰ سانتی متر		
۰/۰۶۳	۰/۰۷۷	۰/۰۶۰	۲	بلوک
۰/۰۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۹۱ <sup>ns</sup>	۰/۳۱۱*	۴	خاکورزی
۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۵۷	۸	خطای اول
۰/۶۱۴**	۰/۰۹۶ <sup>ns</sup>	۰/۳۳۶*	۲	کود آلی
۰/۰۱۹ <sup>ns</sup>	۰۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۴۱ <sup>ns</sup>	۸	خاکورزی × کود آلی
۰/۰۲۸	۰/۰۴۵	۰/۰۶۴	۲۰	خطا

\*\*\*،\*\*،\* ns به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن نتایج در سطح ۱ در صد، ۵ در صد و عدم وجود اثر معنی دار می باشد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار ماده آلی خاک در عمق ۰-۱۰ سانتی متر در تیمار خاکورزی چیزل مشاهده شد. با این وجود مقدار ماده آلی خاک در این تیمار در مقایسه با تیمار گاوآهن برگردان دار معنی دار نبوده است (شکل ۴-۱). ساختار و عملکرد ابزارهای خاکورزی مورد استفاده با یکدیگر متفاوت می باشد. چیزل از ابزارهای کم خاکورز اولیه است. با توجه به ساختار گاوآهن چیزل، نحوه عملکرد آن به گونه ای است که در هنگام شخم زدن، فقط شیارهای باریک و سطحی بر روی خاک ایجاد می کند و در هنگام استفاده از آن عمل اختلاط خاک و مواد آلی صورت نمی گیرد همین امر موجب باقی ماندن مواد آلی در لایه های سطحی مزرعه و تجزیه کم تر آن ها در این تیمار شده است. در مقابل در تیمار گاوآهن برگرداندار، به دلیل اختلاط بیشتر خاک و بقایای گیاهی و کود دامی، این مواد

به زیر خاک برده و مدفون می‌شود و تجزیه مواد آلی افزایش می‌یابد. عملکرد گاوآهن برگرداندار به گونه‌ای می‌باشد که خاک را در حدود ۱۵۰ درجه برمی‌گرداند (منصوری راد، ۱۳۷۸).

همچنین استفاده از ابزارهای خاکورزی ثانویه شامل روتیواتور، کولتیواتور و دیسک پس از گاوآهن برگرداندار باعث کاهش معنی‌دار ماده آلی خاک در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری در مقایسه با دو تیمار کاربرد ابزارهای خاکورزی اولیه به تنهایی شده است. با این وجود ماده آلی در تیمار کاربرد کولتیواتور تفاوت معنی‌داری با گاوآهن برگرداندار نداشته است (شکل ۴-۱).

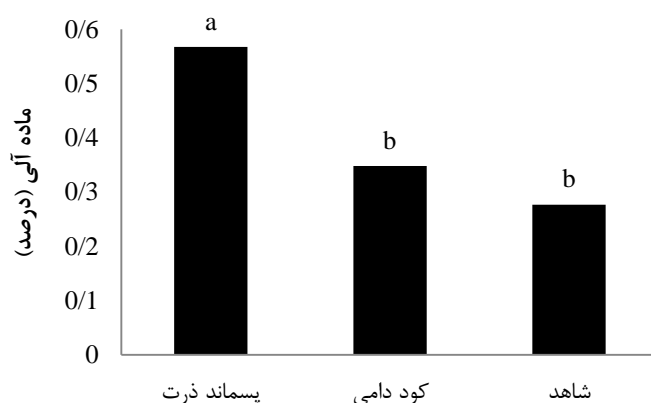
کولتیواتور، دیسک و روتیواتور به ترتیب دارای توان خردکنندگی کم، متوسط و زیاد می‌باشند (منصوری راد، ۱۳۷۸). به نظر می‌رسد وجود ماده آلی کم‌تر در تیمار کاربرد روتیواتور به دلیل خردشدگی زیاد خاک در این تیمار باشد. روتیواتور با برگردان خاک و شکستن خاکدانه‌های آن سبب کاهش حفاظت فیزیکی از مواد آلی درون واحدهای ساختمانی شده و این مواد را در معرض عوامل تجزیه کننده قرار می‌دهد (منصوری راد، ۱۳۷۸). در مقابل مقدار ماده آلی خاک در تیمار کولتیواتور مشابه تیمار کاربرد گاوآهن برگرداندار به تنهایی بوده که احتمالاً به دلیل توان خردکنندگی کم این ابزار خاکورز ثانویه بوده است (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- اثر خاکورزی بر ماده آلی خاک در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر

نتایج مقایسه میانگین کودآلی بر ماده آلی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر نشان داد که تنها اختلاط پسماند ذرت در خاک سبب افزایش معنی دار ماده آلی نسبت به تیمار کود دامی و شاهد شده است (شکل ۴-۲).

نتایج سایر پژوهش‌ها نیز افزایش کربن آلی خاک در اثر مصرف کودهای آلی را گزارش نموده‌اند. درستکار (۱۳۸۹) نیز افزایش ماده آلی در اثر اختلاط بقایای گیاهی گلرنگ، سورگوم، آفتابگردان، لوبیا و شبدر به خاک در کشت گندم را نشان داده است. همچنین افزایش ماده آلی خاک در اثر افزودن بقایای برگ انگور و پوست انار نیز توسط درستکار و والی (۱۳۹۶) گزارش شده است.



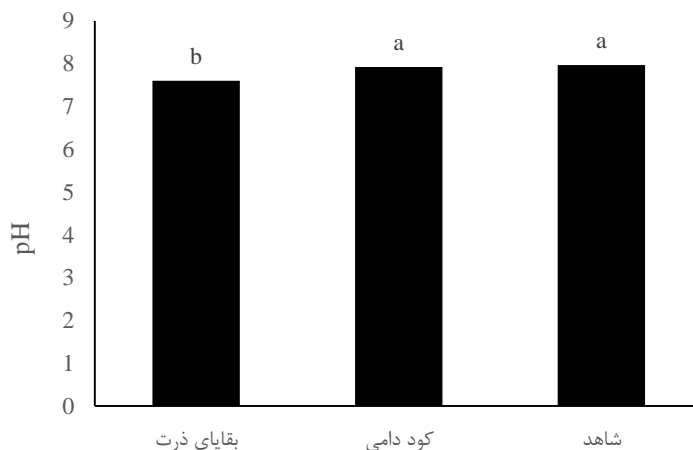
شکل ۴-۲: نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر درصد ماده آلی در عمق ۱۰-۰

افزایش بیش تر ماده آلی خاک در تیمار دارای پسماندهای ذرت در مقایسه با تیمار کود دامی به دلیل تفاوت نسبت C:N در این دو ماده آلی بوده است. کیفیت بقایای آلی از عوامل مهم تعیین کننده تجزیه پذیری آنها می باشد. پژوهش‌ها نشان داده است که مواد آلی با نسبت C:N بیش تر سرعت تجزیه کمتری داشته و در نتیجه به نظر می رسد بیش تر بودن ماده آلی در تیمار پسماندهای ذرت به دلیل نسبت C:N بیش تر این بقایا (۵۷) نسبت به کود دامی (۲۱) و در نتیجه تجزیه کندتر این پسماندها در طول فصل رشد بوده است (درستکار و والی، ۱۳۹۶) نیز افزایش بیش تر کربن آلی خاک را در اثر افزودن بقایای با نسبت C:N بیش تر را گزارش نموده‌اند.



#### ۴-۲- pH خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر خاکورزی بر pH خاک معنی‌دار نبوده است. اما اثر کودآلی بر این پارامتر، در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۴-۱).  
اختلاف کود دامی و پسماند ذرت با خاک سبب کاهش pH خاک شده اما تنها اثر کاربرد پسماند ذرت معنی‌دار بوده است. هرچند این کاهش اندک و تنها ۴/۶ درصد در مقایسه با شاهد بوده است (شکل ۴-۳). همچنین در بخشی از فرآیند استفاده از ذرت در این کارخانه، بقایای مورد استفاده در مجاورت محلول‌های اسیدی قرار گرفته که احتمالاً بر کاهش اسیدیته خاک هرچند به میزان جزئی مؤثر بوده است.



شکل ۴-۳- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودآلی بر pH خاک

#### ۴-۳- میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر خاکورزی و کودآلی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در سطح یک درصد معنی‌دار نبوده است. همچنین در عمق ۲۰-۱۰ سانتی-متری اثر خاکورزی و کود دامی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۴-۲).

جدول ۴-۲- تجزیه واریانس اثر خاکورزی و کودالی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و رس قابل پراکنش در عمق ۱۰-۲۰-۱۰۰

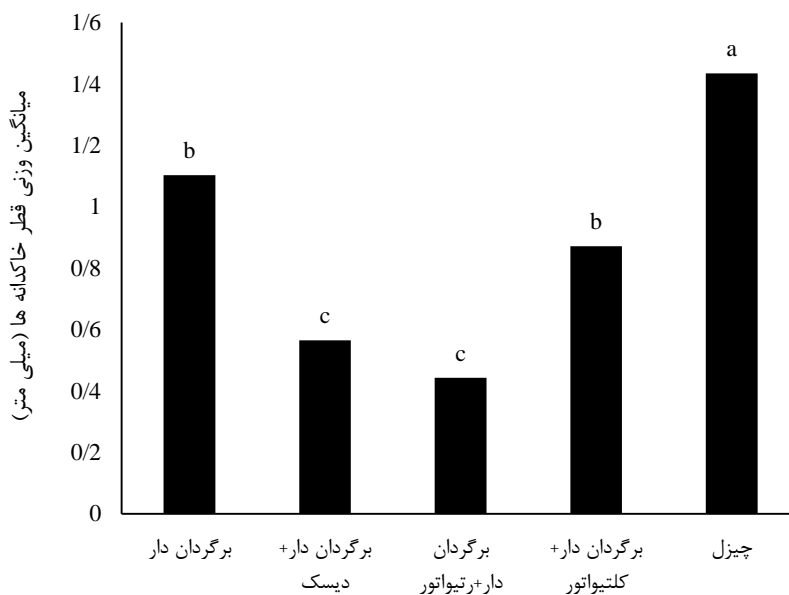
میانگین مربعات				منبع تغییرات	(درجه آزادی)
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها					
رس قابل پراکنش		رس قابل پراکنش			
۱۰-۲۰	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰		
سانتی‌متر	سانتی‌متر	سانتی‌متر	سانتی‌متر		
۷۵/۰۰۴	۹۳/۷۵	۰/۰۴۷۰۸	۰/۰۵۶۵	۲	بلوک
۲۲/۳۸۵ <sup>ns</sup>	۳۴۶۲/۰۶ <sup>**</sup>	۰/۰۶۹۶۴ <sup>*</sup>	۱/۴۵۸۴۲ <sup>**</sup>	۴	خاکورزی
۷۴/۲۶۹	۱۲۳/۴۴	۰/۰۱۳۱۴	۰/۶۷۲۲	۸	خطای اول
۵۳۱/۰۵۱ <sup>*</sup>	۳۴۲۱/۷۲ <sup>**</sup>	۰/۲۲۱ <sup>**</sup>	۰/۹۸۲۶۷ <sup>**</sup>	۲	کود آلی
۱۳/۰۰۸ <sup>ns</sup>	۱۲۶/۵۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵۳۶ <sup>ns</sup>	۰/۷۴۲۹ <sup>ns</sup>	۸	خاکورزی x کود آلی
۱۰۷/۱۲۶	۱۸۹/۵۵	۰/۰۱۶۸۵	۰/۰۶۶۹۸	۲۰	خطا

\*\*\*،\*\*،\*،ns به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن نتایج در سطح ۱ در صد، ۵ در صد و عدم وجود اثر معنی‌دار می باشد.

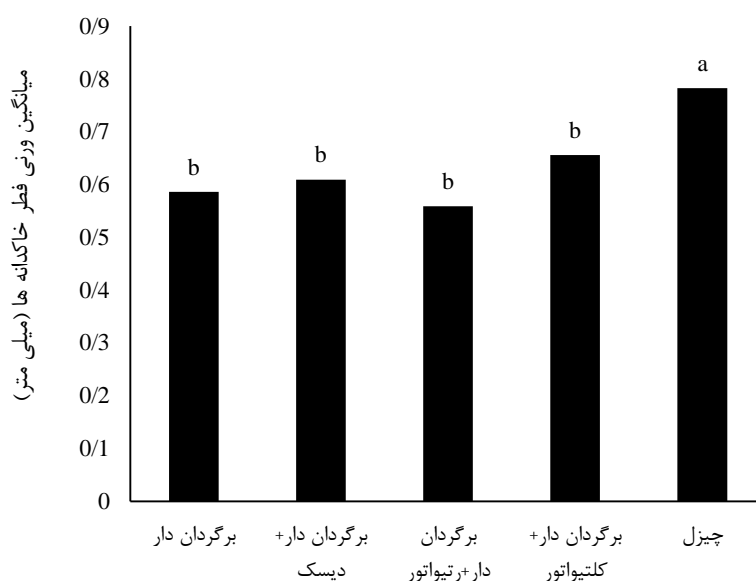
بیشترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در هر دو عمق مورد مطالعه در تیمار کاربرد چیزل مشاهده شد و استفاده از گاواهن برگردان‌دار به تنهایی و یا همراه با ابزارهای خاکورزی ثانویه سبب کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با تیمار کاربرد چیزل شده است (شکل ۴-۴ و ۴-۵). چیزل به عنوان یک ابزار کم خاکورز توانایی چندانی در زیر و رو نمودن خاک نداشته و در نتیجه انتظار می‌رود آسیب چندانی به ساختمان خاک وارد ننماید. در نتیجه خاکدانه‌های خاک حفظ شده و از شکسته شدن آن‌ها در مقایسه با کاربرد ابزارهای خاکورزی مرسوم مانند گاواهن برگردان‌دار جلوگیری می‌شود. پایداری خاکدانه‌ها تابعی از پیوندهای بین ذرات تشکیل دهنده آن بوده و این پیوندها در اثر برخورد گاواهن برگردان‌دار احتمال شکست بیشتری دارند و کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در این تیمارها در مقایسه با چیزل احتمالاً به دلیل شکست همین پیوندها است (بیات و همکاران، ۱۳۸۶). احمدی مقدم و همکاران (۱۳۹۵) نیز کاهش پایداری خاکدانه‌ها در اثر استفاده از گاواهن برگردان‌دار

در مقایسه با چیزل را به دلیل به خوردگی بیش تر خاک گزارش نموده‌اند.

از سوی دیگر چیزل با حفظ مواد آلی در سطح خاک و عدم اختلاط کامل آن با خاک از تجزیه مواد آلی جلوگیری نموده و در نتیجه به فرآیندهای خاکدانه‌سازی در سطح خاک کمک می‌نماید (نیکپور و همکاران، ۱۳۹۰). بقایای گیاهی تازه و غنی از کربن، در تشکیل و پایداری خاکدانه‌های درشت نقش دارند. حال آنکه کربن آلی قدیمی‌تر و تجزیه شده (هوموس) در تشکیل خاکدانه‌های ریز نقشی مهم ایفا میکند (روستا ۱۳۸۸). جان و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی میانگین وزنی قطر خاکدانه در ۲۶ نمونه خاک مشاهده کردند که بین این ویژگی و مقدار ماده آلی همبستگی خطی وجود دارد که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد. مشابه با این نتایج رایت و هانس (۲۰۰۵) نیز افزایش مواد آلی و پایداری خاکدانه‌ها در سیستم بدون خاکورزی در مقایسه با خاکورزی مرسوم را گزارش نموده‌اند.



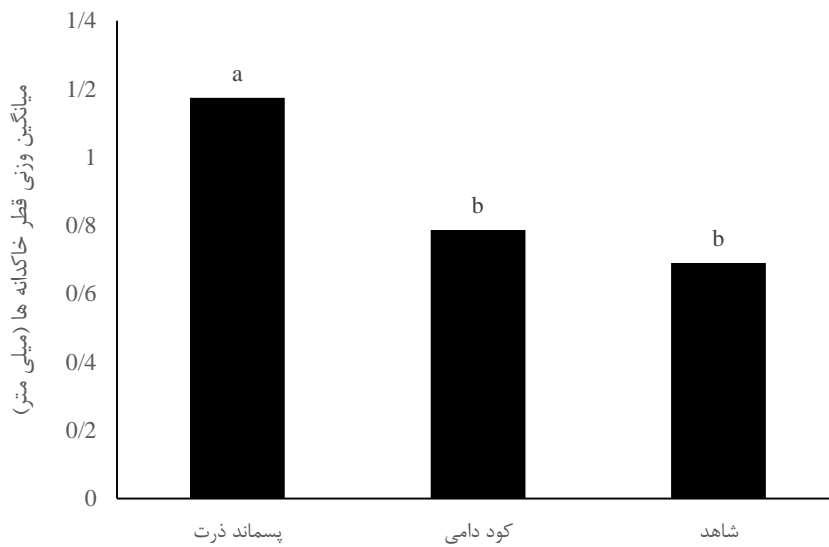
شکل ۴-۴- نمودار مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاکورزی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر



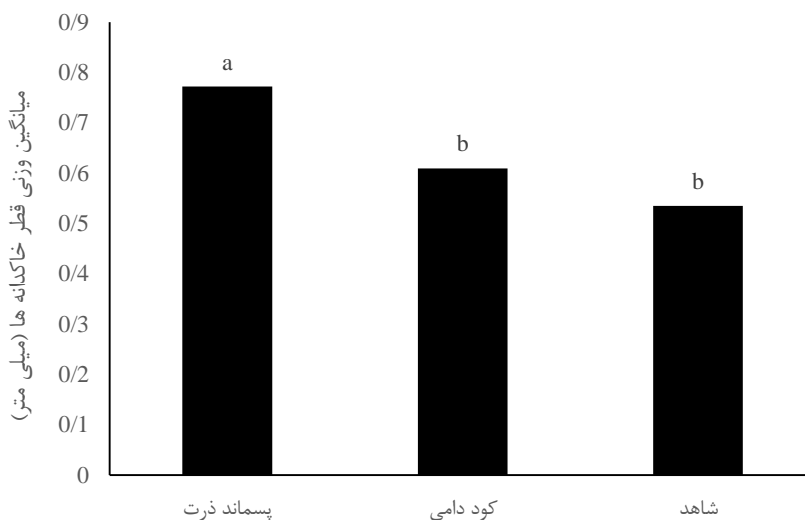
شکل ۴-۵- اثر تیمارهای خاکورزی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر

کاربرد ابزارهای خاکورزی ثانویه در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر سبب کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با کاربرد گاوآهن برگردان‌دار به تنهایی شد، که احتمالاً به دلیل اعمال نیروی بیشتر به خاک و به هم خوردگی بیش‌تر آن و در نتیجه شکست پیوندهای مؤثر در پایداری خاکدانه‌ها بوده است. با این وجود تأثیر کاربرد کولتیواتور بر کاهش پایداری خاکدانه‌ها در مقایسه با تیمار کاربرد گاوآهن برگردان‌دار به تنهایی معنی‌دار نبوده است. بیش‌ترین تأثیر منفی ابزارهای مورد استفاده بر ساختمان خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری در تیمار کاربرد ثانویه روتیواتور پس از گاوآهن برگردان‌دار مشاهده شد که احتمالاً به دلیل خردشدگی زیاد خاک توسط این ابزار بوده است. کاربرد روتیواتور میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را در مقایسه با تیمار کم خاکورزی و تیمار کاربرد گاوآهن برگردان‌دار به تنهایی به ترتیب در حدود ۷۰ و ۶۰ درصد کاهش داده است (شکل ۴-۴). در حالی که کاربرد گاوآهن برگردان‌دار به تنهایی در مقایسه با چیزل تنها سبب کاهش ۲۳ درصدی شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در این عمق شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ابزارهای ثانویه به ویژه با قدرت خردکنندگی زیاد همانند روتیواتور اثرات مخرب ابزارهای اولیه خاکورزی را در خاکورزی‌های مرسوم یا غیر حفاظتی به شدت افزایش داده است.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری در تیمارهای کاربرد ابزارهای خاکورزی ثانویه تفاوت معنی‌داری با تیمار کاربرد گاواهن برگردان‌دار به تنهایی نداشته است. عمق کار رتیواتور و دیسک حداکثر ۵ سانتی‌متر و عمق کار کولتیواتور حداکثر ۱۰ سانتی‌متر بوده و در نتیجه تأثیر منفی مشاهده در عمق اول در عمق دوم مشاهده نشده است (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۶- اثر تیمارهای کود آلی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر



شکل ۴-۷- اثر تیمارهای کود آلی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر

در هر دو عمق مورد مطالعه کاربرد کود دامی و پسماند ذرت سبب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شده است. با این وجود تنها کاربرد پسماند ذرت سبب افزایش معنی‌دار این شاخص به ترتیب به میزان ۷۰ و ۴۴/۵ درصدی در عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک شد (شکل ۴-۶ و ۴-۷). اثرات مثبت افزودن مواد آلی به خاک بر افزایش خاکدانه‌سازی و پایداری ساختمان خاک به خوبی شناخته شده است. مطالعات نشان داده است که مقدار و ترکیب پسماندهای آلی اضافه‌شده به خاک می‌تواند پایداری ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار دهد (برونیک و لال، ۲۰۰۵). مواد آلی از طریق ایجاد پیوندهای استری و الکترواستاتیکی باعث اتصال ذرات کلوئیدی خاک به یکدیگر شده و از تخریب خاکدانه‌ها جلوگیری می‌نماید (کاپلان و همکاران، ۱۹۹۷). بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از بقایای آلی در این پژوهش با افزایش میزان کربن آلی در خاک سبب خاکدانه‌سازی و افزایش پایداری خاکدانه‌های موجود در خاک شده است.

همچنین افزودن ترکیبات آلی به خاک احتمالاً سبب افزایش سطح فعالیت‌های میکروبی در خاک شده که می‌تواند منجر به تولید پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی شود (چارنز و همکاران، ۲۰۰۲). این پلی‌ساکاریدها نقش مهمی در پایداری منافذ خاک و خاکدانه‌سازی ایفا می‌نمایند. به علاوه فعالیت‌های میکروبی سبب تولید ترکیبات آبگریزی شده که قرار گیری آن‌ها در سطح خاکدانه‌ها به پایداری آن‌ها در برابر مرطوب شدن سریع کمک می‌نمایند (لیو و همکاران، ۲۰۰۵).

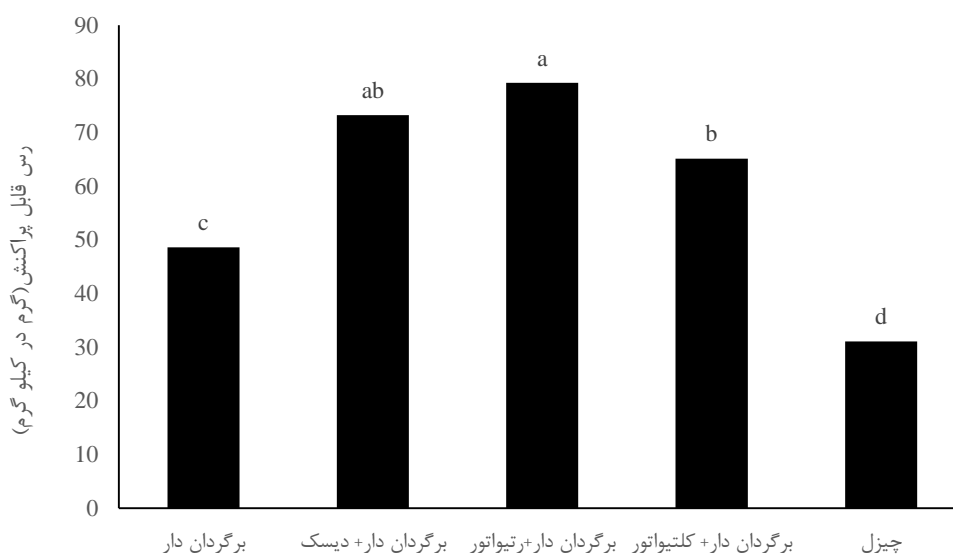
به طور مشابه شاور و همکاران (۲۰۰۳) نیز گزارش کردند که افزایش زیست‌توده حاصل از برگ‌داندن بقایای گیاهی به خاک سبب افزایش تشکیل خاکدانه‌های درشت به ویژه در ۲/۵ سانتی‌متری سطح خاک می‌شود. در پژوهشی که توسط نوتیگ و همکاران (۲۰۰۵) انجام شد، خاکستر چوب بقایای بادام زمینی به خاک اضافه شده و بهبود ساختمان خاک در اثر افزودن این بقایا را گزارش شد. مطالعات باتاچاریا و همکاران (۲۰۰۷) نیز تأثیرات مثبت ماده آلی در افزایش پایداری ساختمان خاک را نشان داده است.

#### ۴-۴- رس قابل پراکنش خاک

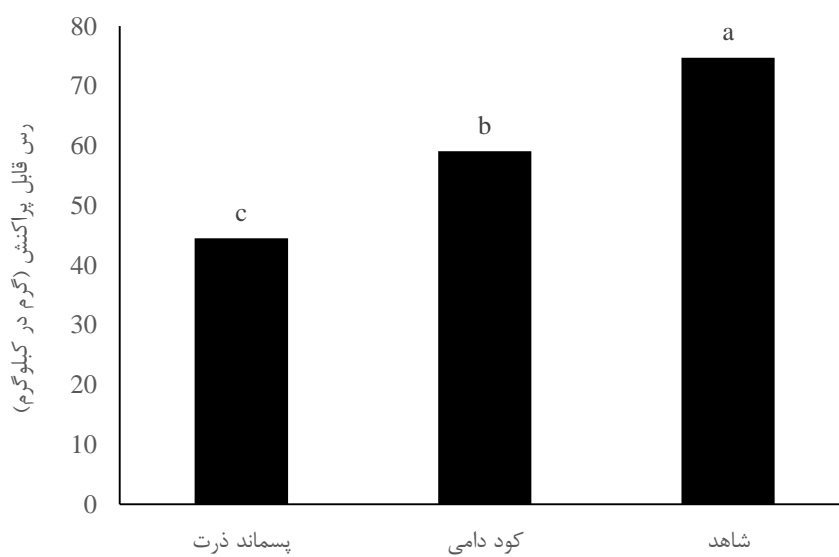
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داده است اثر خاکورزی و کودآلی بر رس قابل پراکنش خاک در آب در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. همچنین اثر کود آلی بر رس قابل پراکنش خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۴-۲).

کم‌ترین مقدار رس قابل پراکنش خاک در آب در تیمار استفاده از روش کم خاکورزی و شخم به کمک چیزل مشاهده شده است. کاربرد گاواهن برگردان‌دار به تنهایی و یا همراه با ابزارهای خاکورزی ثانویه رس قابل پراکنش خاک را در مقایسه با روش کم خاکورز چیزل افزایش داده است. رس قابل پراکنش در آب یکی از شاخص‌های نشان‌دهنده پایداری ساختمان خاک می‌باشد. هر عاملی که سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها در خاک شود می‌تواند مقدار رس قابل پراکنش خاک در آب را کاهش دهد (درستکار و والی، ۱۳۹۶). پایداری خاکدانه‌ها تابعی از پیوند بین ذرات اولیه بوده که خاکدانه‌ها را تشکیل می‌دهند، احتمال دارد این پیوندها در اثر بر خورد گاواهن برگردان‌دار شکسته شوند و این امر باعث ناپایداری ساختمان خاک و افزایش رس قابل پراکنش خاک در آب را کاهش دهد (درستکار و والی، ۱۳۹۶). به نظر می‌رسد افزایش ماده آلی خاک در اثر کاربرد چیزل و به هم‌خوردگی کم‌تر خاک در مقایسه با گاواهن برگردان‌دار سبب پایداری بیش‌تر خاکدانه‌ها در این تیمار و کاهش مقدار رس قابل پراکنش در آب شده است.

بیش‌ترین میزان رس قابل پراکنش خاک در تیمار کاربرد روتیواتور به همراه گاواهن برگردان‌دار مشاهده شد. در این تیمار رس قابل پراکنش خاک ۶۳ درصد بیش‌تر از تیمار کاربرد گاواهن برگردان‌دار به تنهایی بوده است. همچنین کاربرد روتیواتور سبب افزایش ۲/۵ برابری این شاخص در مقایسه با تیمار کاربرد چیزل شده است (شکل ۴-۸). همانطور که مشاهده می‌شود کاربرد ابزارهای خاکورزی ثانویه به ویژه ابزارهای با قدرت خردکنندگی زیاد در کنار نرم نمودن خاک جهت آماده‌سازی زمین برای کشت، منجر به تخریب شدید ساختمان خاک شده و در نتیجه خاک مزرعه را برای تشکیل سله و افزایش فرسایش آماده می‌نمایند (برونیک و لال ۲۰۰۵).

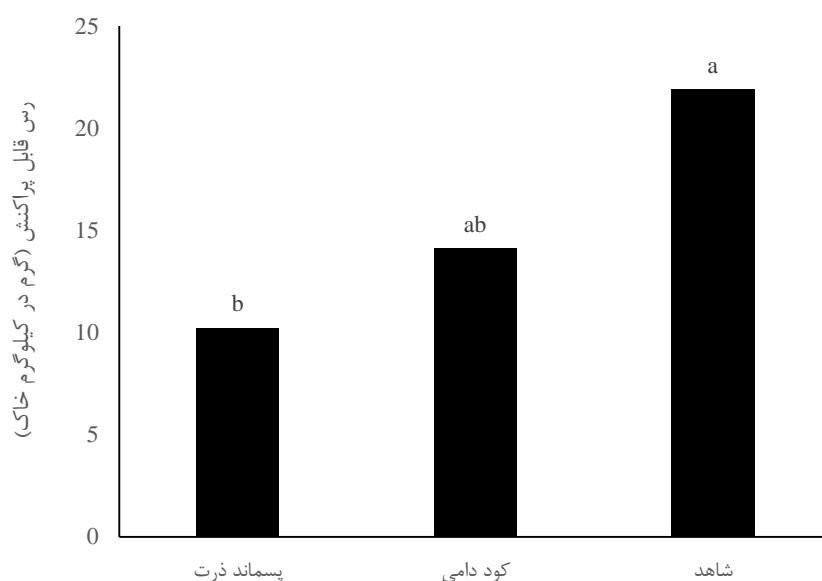


شکل ۴-۸- اثر تیمارهای خاکورزی بر رس قابل پراکنش خاک در آب در عمق ۰-۱۰ سانتی متر



شکل ۴-۹- اثر تیمارهای کود آلی بر رس قابل پراکنش خاک در آب در عمق ۰-۱۰ سانتی متر





شکل ۴-۱۰: اثر تیمارهای کود آلی بر رس قابل پراکنش خاک در آب در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر

کاربرد کودهای آلی سبب کاهش رس قابل پراکنش در آب نسبت به تیمار شاهد شده است. به گونه‌ای که در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری اختلاط کود دامی و پسماند ذرت به ترتیب سبب کاهش ۲۱ و ۴۰/۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد (بدون ماده آلی) شده است (شکل ۴-۹). همچنین در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری نیز کاربرد کود دامی و پسماند ذرت به ترتیب سبب کاهش ۳۵/۵ و ۵۳/۴ درصدی نسبت به تیمار شاهد (بدون ماده آلی) شده است (شکل ۴-۱۰). همانطور که مشاهده می‌شود در هر دو عمق مورد مطالعه تأثیر افزودن پسماند ذرت در کاهش رس قابل پراکنش خاک بیش‌تر از کود دامی بوده است. این امر احتمالاً به دلیل افزودن بیش‌تر مواد آلی به خاک توسط این پسماند بوده که به دلیل نسبت بیش‌تر C:N در آن در مقایسه با تیمار کود دامی بوده است (درستکار و والی، ۱۳۹۶). وجود همبستگی منفی معنی‌دار در سطح یک درصد ( $R^2 = 0/85$ ) بین مقدار ماده آلی خاک و رس قابل پراکنش نشان‌دهنده تأثیر مقدار کربن آلی خاک بر پایداری ساختمان خاک است.

#### ۴-۵- چگالی ظاهری خاک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر خاکورزی و کودآلی بر چگالی ظاهری در عمق

۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متری در سطح ۱ در صد معنی دار بوده است (جدول ۴-۳)

جدول ۴-۳: اثر خاکورزی و ماده آلی بر چگالی ظاهری و تخلخل خاک

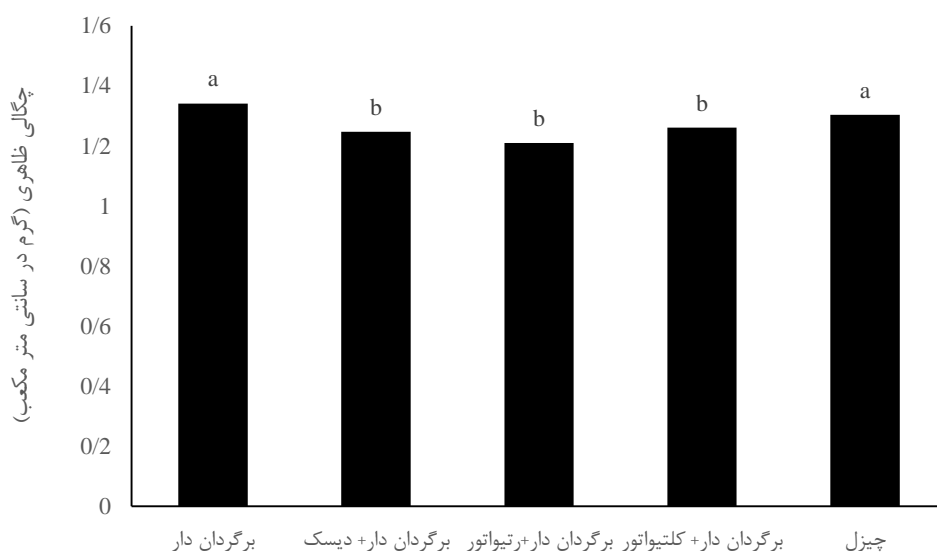
میانگین مربعات					
تخلخل		چگالی ظاهری		درجه آزادی	منبع تغییرات
۱۰-۲۰	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰		
سانتی متر	سانتی متر	سانتی متر	سانتی متر		
۰/۰۰۰۶۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳۱۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۴۹ <sup>ns</sup>	۲	بلوک
۰/۰۰۳۰۰ <sup>**</sup>	۰/۰۰۸۴۴ <sup>**</sup>	۰/۰۱۴۵۳ <sup>**</sup>	۰/۰۴۰۸۳ <sup>**</sup>	۴	خاکورزی
۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۵۴	۰/۰۰۰۸۲	۰/۰۰۲۶۳	۸	خطای اول
۰/۰۱۲۹۱ <sup>**</sup>	۰/۰۱۰۶۵ <sup>**</sup>	۰/۰۶۲۵۰ <sup>**</sup>	۰/۰۵۱۵۷ <sup>**</sup>	۲	کود آلی
۰/۰۰۰۴۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۴۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱۹۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲۲۳ <sup>ns</sup>	۸	خاکورزی x کود آلی
۰/۰۰۰۶۲	۰/۰۰۰۴۲	۰/۰۰۳۰۱	۰/۰۰۲۰۴	۲۰	خطا

\*\*\*،\*\*،ns به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن نتایج در سطح ۱ در صد، ۵ در صد و عدم وجود اثر معنی دار می باشد.

استفاده از روش کم خاکورزی (چیزل) در عمق ۰-۱۰ سانتی متر سبب کاهش چگالی ظاهری خاک نسبت به روش خاکورزی با گاوآهن برگردان دار شده است. با این وجود این کاهش به لحاظ آماری معنی دار نبوده است (شکل ۴-۱۱). به نظر می رسد وجود ماده آلی بیش تر در تیمار چیزل و به هم خوردگی بیش تر خاک و انتقال خاک عمقی به سطح در تیمار گاوآهن برگردان دار سبب عدم تفاوت معنی دار بین این دو تیمار شده است. چگالی ظاهری خاک یکی از مهمترین مؤلفه های فیزیکی خاک است. اصولاً چگالی ظاهری خاک با میزان منافذ خاک نسبت عکس دارد و مطالعات نشان داده که در نتیجه عملیات کشاورزی منافذ

خاک زیاد شده و چگالی ظاهری خاک کم می شود. در تیمار چیزل نیز وجود ماده آلی بیش تر

اصطلاحاً سبب پوکی خاک و حفظ ساختمان آن شده و احتمالاً به همین دلیل چگالی ظاهری تفاوت معنی‌دار با تیمار کاربرد گاواهن برگردان‌دار به تنهایی نداشته است (جین و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین این آزمایش در طی یک دوره کشت بوده و تکرار تیمارها در دراز مدت ممکن است نتایج متفاوتی را نشان دهد.

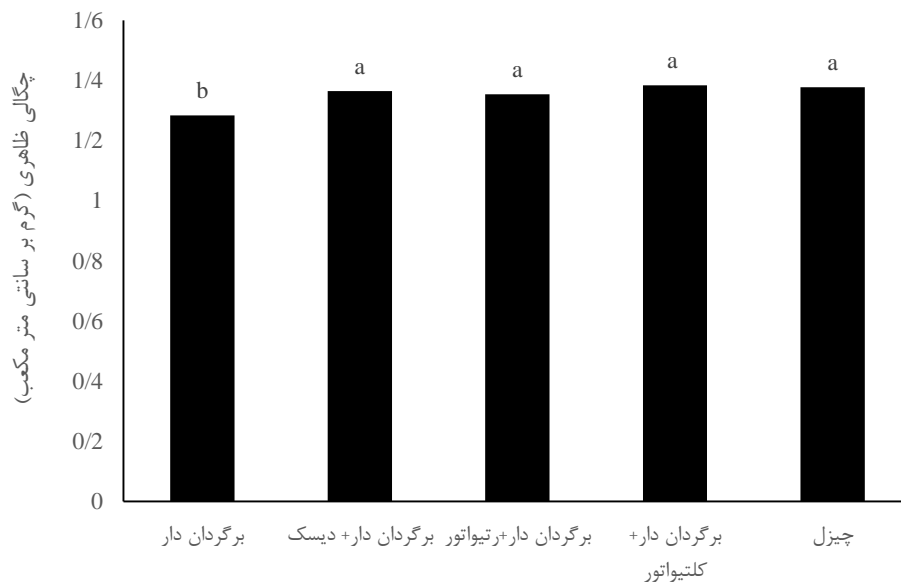


شکل ۴-۱۱- اثر تیمارهای خاکورزی بر چگالی ظاهری خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر

کاربرد ابزارهای خاکورزی ثانویه همراه با گاواهن برگردان‌دار سبب کاهش معنی‌دار چگالی ظاهری خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر شده است (شکل ۴-۱۱). یکی از اهداف خاکورزی به ویژه در شیوه‌های سنتی و مرسوم با کاربرد حجم زیاد ماشین‌آلات، نرم نمودن خاک و کاهش سختی و چگالی آن است. در این روش‌ها برهم زدن خاک و جابه‌جایی آن سبب ایجاد منافذ بیش‌تر در خاک شده (جین و همکاران، ۲۰۱۱) و به نظر می‌رسد که این امر در تیمارهای کاربرد روتیواتور، کولتیواتور و دیسک به ویژه در تیمار کاربرد روتیواتور سبب کاهش چگالی خاک شده باشد.

بررسی چگالی ظاهری خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری نشان داد که کاربرد گاواهن برگردان‌دار به تنهایی سبب کاهش چگالی ظاهری خاک نسبت به تیمار کم خاکورزی شده است (شکل ۴-۱۲).

گاو آهن برگردان دار تا عمق ۲۰ سانتی متری توانسته خاک را جابه‌جا نماید، در حالی که چیزل تنها با ایجاد خراش در سطح سبب جابه‌جایی اندک سطحی خاک شده است. از سوی دیگر اثر تراکمی چرخ‌های تراکتور هنگام استفاده از چیزل احتمالاً باعث فشردگی خاک عمقی شده است. بنابراین به نظر می‌رسد کاربرد روش کم خاکورزی به ویژه در طولانی مدت می‌تواند سبب افزایش چگالی و فشردگی خاک عمقی شود که محدودیت‌هایی را برای رشد گیاهان به همراه خواهد داشت. کومیا و همکاران (۱۹۹۴) افزایش چگالی ظاهری خاک در اثر عبور ماشین آلات کشاورزی را گزارش نموده و بیان کردند که کاربرد گاوآهن برگردان دار اثر تراکمی چرخ‌ها را نسبت به کاربرد چیزل کاهش می‌دهد. بیات و همکاران (۱۳۸۶) و صفاهانی لنگرودی و همکاران (۱۳۹۵) افزایش چگالی ظاهری در تیمار بدون خاکورزی و کم خاکورزی را در مقایسه با تیمار کاربرد خاکورزی با گاوآهن برگردان دار گزارش نموده‌اند.

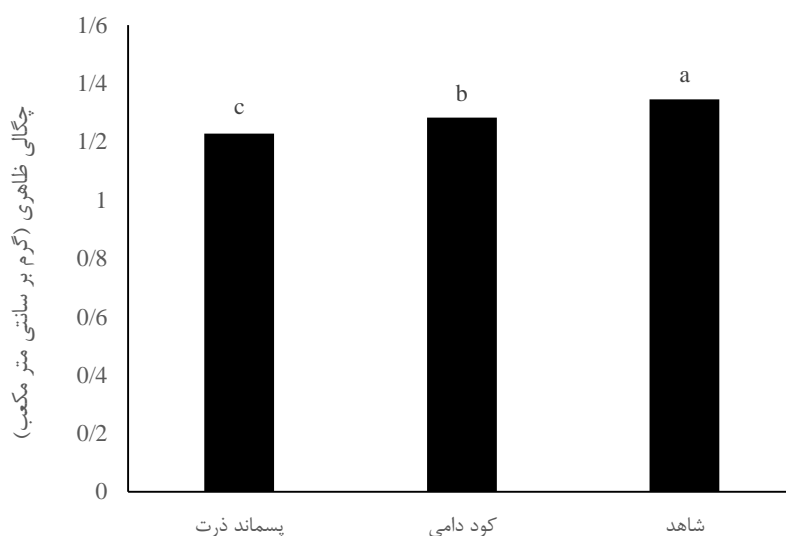


شکل ۴-۱۲- اثر تیمارهای خاکورزی بر چگالی ظاهری خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر

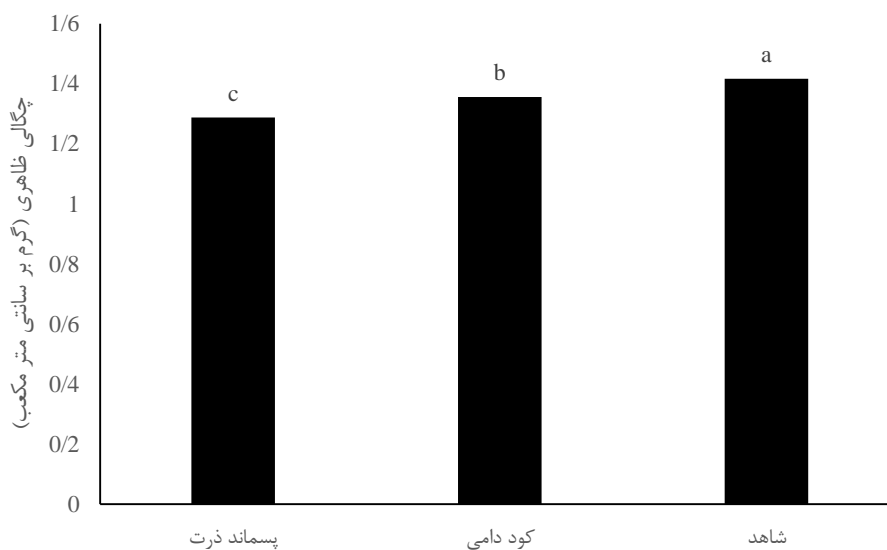
همچنین کاربرد ادوات ثانویه خاکورزی تأثیر معنی‌داری بر کاهش چگالی ظاهری خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری خاک نداشته است (شکل ۴-۱۲). علت این مشاهده عمق کار کم ابزارهای مورد استفاده بوده که در تیمار روتیواتور و دیسک حداکثر ۵ سانتی متر و در تیمار کولتیواتور حداکثر ۱۰

سانتی متر بوده است. از سوی دیگر عبور تراکتور در سطح خاک برای کشش ابزارهای ثانویه باعث ایجاد تراکم در لایه‌های عمقی شده است.

بررسی نتایج تأثیر کود آلی بر چگالی ظاهری خاک نشان داد که اختلاط کود دامی و پسماند ذرت سبب کاهش معنی‌دار چگالی ظاهری خاک در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کود) در هر دو عمق مورد مطالعه شده است. کم‌ترین چگالی ظاهری در هر دو عمق در تیمار کاربرد پسماند ذرت مشاهده شده است (شکل ۴-۱۳ و ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۳- اثر تیمارهای کود آلی بر چگالی ظاهری خاک در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر



شکل ۴-۱۴- اثر تیمارهای کود آلی بر چگالی ظاهری خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر

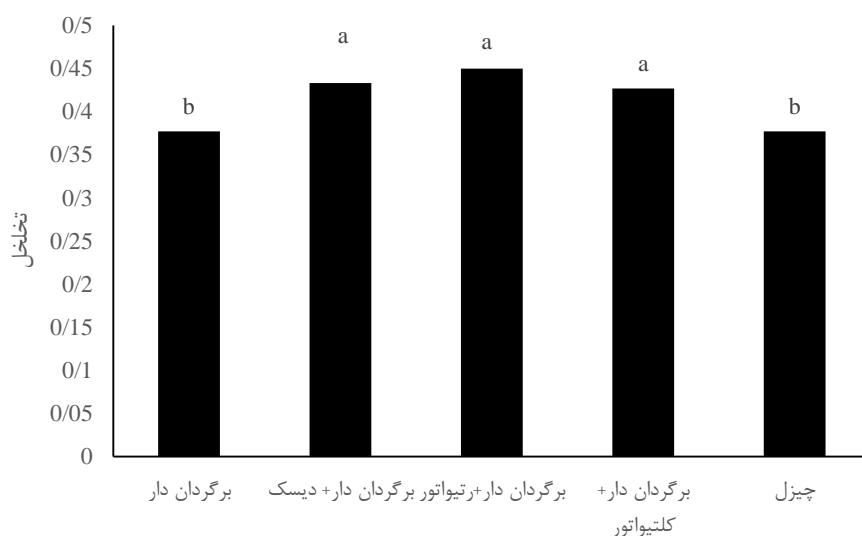
مشابه با نتایج این تحقیق ایکیو و استون (۲۰۰۶) گزارش کردند که جرم مخصوص ظاهری خاک با افزایش مقدار پیت در خاک به طور معنی‌داری از ۱/۵ به ۰/۹۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش یافت. بهارلویی و موسوی (۱۳۹۵) گزارش کردند که افزایش تفاله پسته در دو بافت (شنی ولوم رسی سیلتی) باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری شد اما شدت کاهش آن در خاک ریز بافت بیشتر از خاک درشت بافت بود. همچنین بهارلوی و همکاران (۱۳۹۵) نیز در آزمایش‌های خود با مصرف کمپوست کاه برنج ثابت کردند که کمپوست خصوصیات فیزیکی افق‌های خاک را اصلاح نموده است که از این جمله می‌توان به کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک اشاره نمود.

در مجموع بررسی اثر تیمارها بر چگالی ظاهری نشان می‌دهد که این شاخص تفاوت چندانی در تیمارهای مختلف نداشته است که احتمالاً به دلیل انجام این مطالعه در یک فصل رشد بوده است و اعمال تیمارها در طولانی‌مدت می‌تواند نتایج را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. با این وجود چگالی ظاهری از جمله شاخص‌های مفیدی بوده که اثرات کوتاه مدت مدیریتی را به خوبی نشان می‌دهد (بیات و همکاران، ۱۳۸۶)

#### ۴-۶- تخلخل خاک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داده که اثر خاکورزی و کودآلی بر تخلخل در عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری در سطح ۱ درصد معنی دار بوده است، اما اثر متقابل این تیمارها بر پارامتر مورد نظر معنی دار نبوده است (جدول ۴-۳).

میزان تخلخل خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری در تیمار خاکورزی چیزل تفاوت معنی‌داری با تیمار کاربرد گاوآهن برگردان‌دار به تنهایی نداشته است. در حالی که استفاده از ابزارهای خاکورزی ثانویه به همراه گاو آهن برگردان‌دار سبب افزایش معنی‌دار تخلخل خاک در این عمق شده که به دلیل خرد شدن بیش‌تر خاک در این تیمارها و ایجاد منافذ بیش‌تر در اثر خرد شدن کلوخه‌های سطحی می‌باشد (شکل ۴-۱۵).



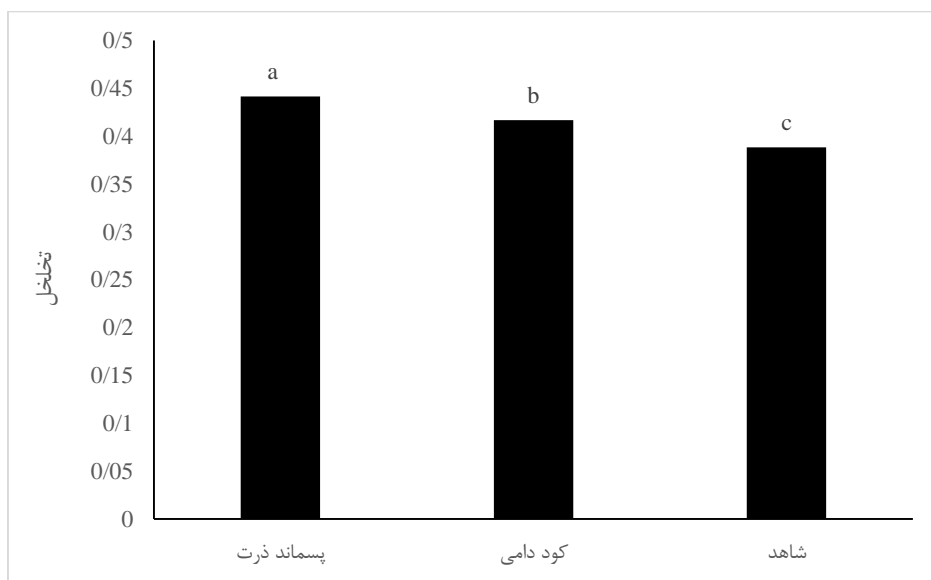
شکل ۴-۱۵- اثر تیمارهای خاکورزی بر تخلخل خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر

بررسی تخلخل خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری نشان داد که بیش‌ترین تخلخل خاک در تیمار گاوآهن برگردان‌دار مشاهده شد و سایر تیمارهای مورد بررسی تفاوت معنی‌داری نداشته است (شکل ۴-۱۶). عدم نفوذ ابزارهای خاکورزی ثانویه و چیزل به عمق یاد شده و در مقابل ایجاد اثر تراکمی در عمق در اثر عبور ماشین‌آلات، سبب کاهش معنی‌دار تخلخل در این تیمارها نسبت به تیمار گاوآهن برگردان‌دار شده است (کومیا و همکاران ۱۹۹۴).

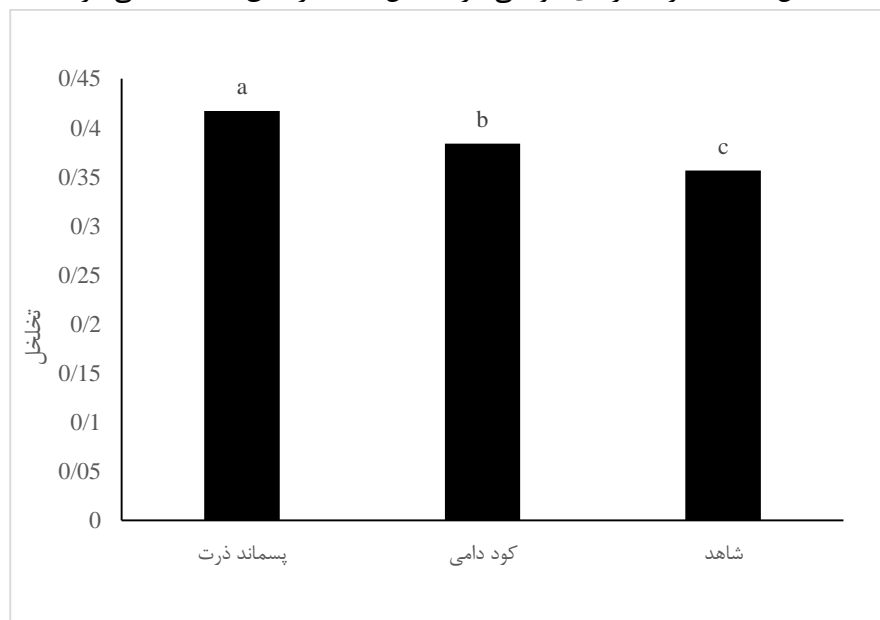


شکل ۴-۱۶- اثر تیمارهای خاکورزی بر تخلخل خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر

اختلاط کود دامی و پسماند ذرت در عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر با خاک سبب افزایش تخلخل خاک شد. استفاده از پسماند ذرت بیش‌ترین تأثیر را در افزایش تخلخل خاک داشته است (شکل ۴-۱۷ و ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۷- اثر تیمارهای کودآلی بر تخلخل خاک در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر



شکل ۴-۱۸- اثر تیمارهای کودآلی بر تخلخل خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر

موادآلی دارای جرم مخصوص کم بوده و از طرفی افزایش مواد آلی در خاک تراکم پذیری خاک را کاهش داده و سبب افزایش تخلخل می‌شود. جات و آلات (۲۰۰۷) گزارش کردند که مصرف ۳ تن

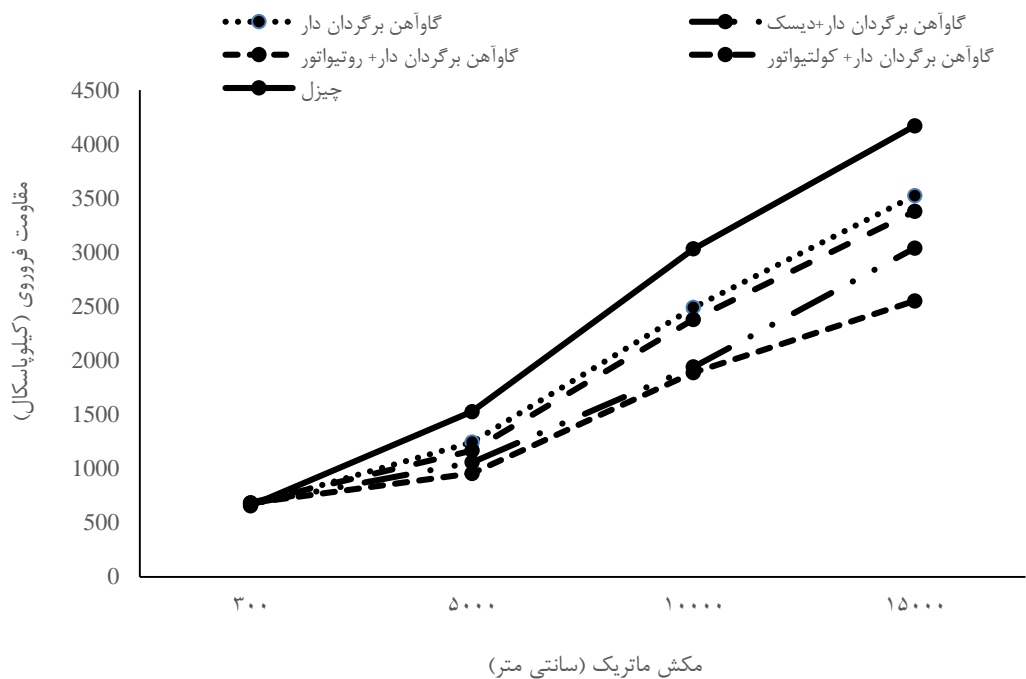


ورمی کمیپوست در افزایش تخلخل خاک نسبت به شاهد تأثیرگذارتر است. بهارلویی و موسوی (۱۳۹۵) نیز نتایج مشابهی را در افزودن مواد آلی به خاک گزارش نموده‌اند.

#### ۴-۷- مقاومت فروروی خاک

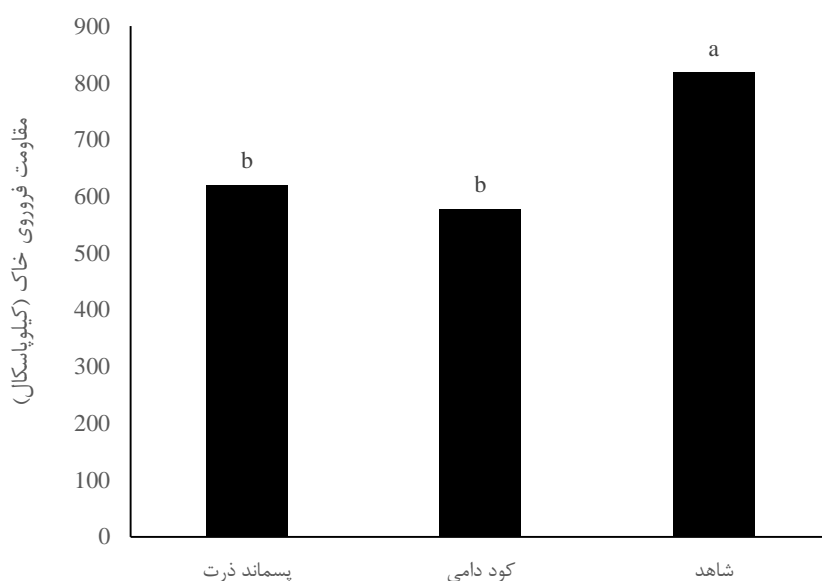
مقاومت فروروی خاک با افزایش مکش ماتریک و کاهش رطوبت خاک افزایش یافت (شکل ۴-۱۹). آلن و همکاران (۱۹۹۷) رطوبت خاک را مهم‌ترین فاکتور مؤثر بر مقاومت فروروی خاک معرفی نموده و توصیه کردند که مقایسه خاک‌های مختلف از نظر این شاخص در یک رطوبت مشخص انجام گیرد. کاهش رطوبت خاک سبب شده تا ذرات به یکدیگر نزدیک شده و اصطکاک بین ذرات خاک افزایش یابد. این امر باعث محکم‌تر شدن پیوند بین ذرات خاک و در نتیجه افزایش مقاومت مکانیکی خاک می‌شود (درستکار ۱۳۹۴). در اثر مرطوب شدن خاک بخش زیادی از منافذ ماکرو تخریب شده که با کاهش رطوبت و خشک شدن خاک مقاومت آن به شدت افزایش می‌یابد که این امر به دلیل افزایش تنش داخلی و غالب شدن تخلخل میکرو در خاک می‌باشد (مولیز و همکاران ۱۹۹۰).

نتایج آنالیز آماری نشان داد که در مکش ماتریک ۳۰۰ سانتی‌متر تنها تأثیر کاربرد کود آلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر معنی‌دار بوده است. به گونه‌ای که در هر دو عمق مورد مطالعه اختلاط کود آلی با خاک سبب کاهش مقاومت فروروی خاک شده است (شکل ۴-۲۰ و ۴-۲۱). بهبود وضعیت ساختمانی خاک در اثر افزودن کودهای آلی به خاک سبب افزایش حجم منافذ خاک شده و در نتیجه مقاومت فروروی خاک را کاهش می‌دهد (سلیک و همکاران ۲۰۱۰). مرادی و همکاران (۱۳۹۴) ماده آلی و شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر مقاومت فروروی خاک در سطح خاک گزارش نموده‌اند.

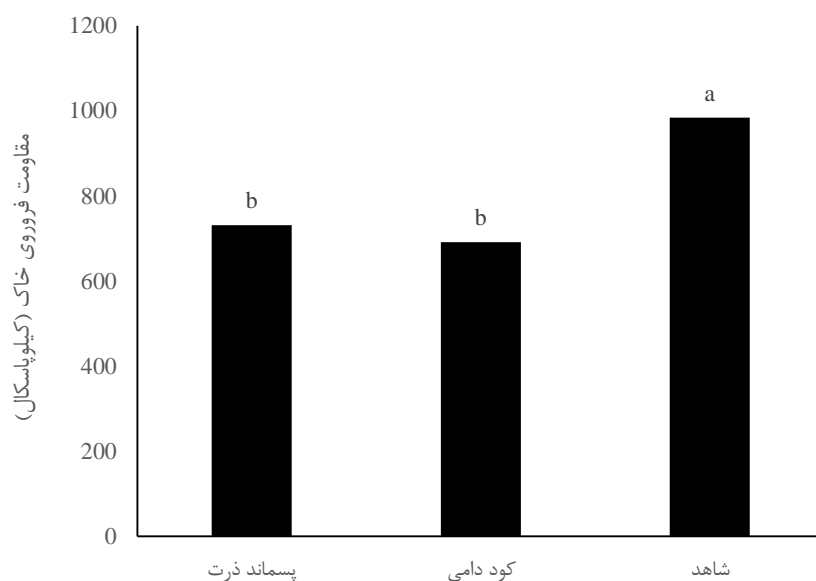


شکل ۴-۱۹- تأثیر عملیات خاکورزی بر میانگین مقاومت فروری خاک در مکش‌های ماتریک مورد مطالعه

طبق نتایج تجزیه میانگین تأثیر ادوات مختلف خاکورزی بر مقاومت فروری خاک در مکش‌های مورد مطالعه (۳۰۰-۵۰۰۰-۱۰۰۰۰ و ۳۰۰ سانتی‌متر) نشان داده است که با افزایش مکش مقاومت فروری خاک افزایش می‌یابد. بطوریکه بیشترین مقاومت در ابزار کم خاکورز چیزل مشاهده شده است (شکل ۴-۱۹).



شکل ۴-۲۰- تأثیر مواد آلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۳۰۰ سانتی‌متر



شکل ۴-۲۱- تأثیر مواد آلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۳۰۰ سانتی‌متر

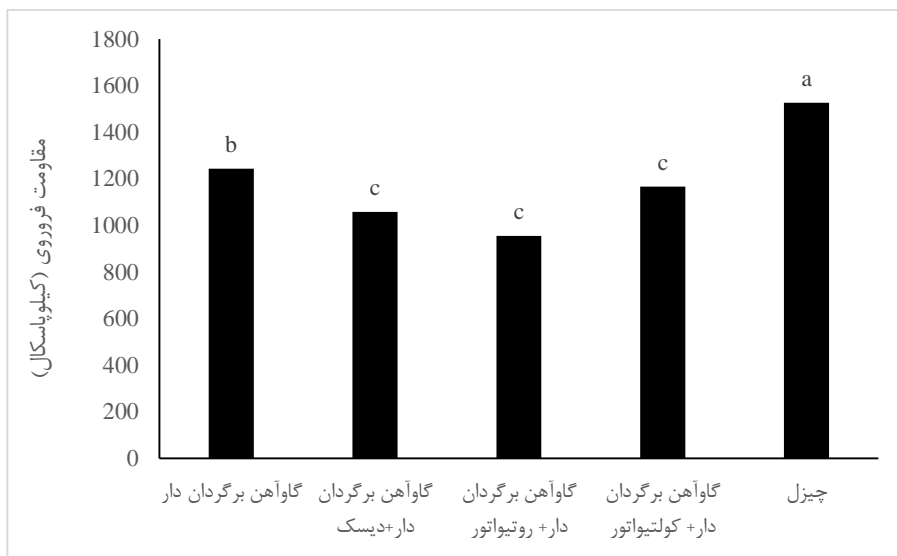
اوهیو و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند که کاربرد ماده آلی سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری، مقاومت فروروی و مقاومت برشی خاک می‌گردد و به طور کلی تراکم‌پذیری خاک را به صورت قابل توجهی کاهش می‌دهد. این تأثیر به خصوص در خاک‌های سنگین رسی که عملیات کشاورزی در آن در رطوبت‌های کم و زیاد مشکل است باعث سهولت مدیریت خاک می‌گردد. سور و همکاران (۱۹۹۳) گزارش کردند که افزودن کود سبز به خاک سبب کاهش مقاومت فروروی خاک

به مقدار ۱۵ تا ۸۰۰ کیلو پاسکال گردید.

میانگین مقاومت فروروی خاک در مکش ماتریک ۳۰۰ سانتی‌متر در همه تیمارهای مورد مطالعه کم‌تر از ۲ مگاپاسکال بوده است. محققان گزارش نموده‌اند که در مقاومت فروروی کم‌تر از ۲ مگاپاسکال گیاه با مقاومت جدی روبه‌رو نخواهد شد (وارسا و همکاران ۱۹۹۷، کرزیک و همکاران ۲۰۰۰).

بررسی مقاومت فروروی خاک در مکش ۵۰۰۰ سانتی‌متر نشان داد که در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر بیش‌ترین مقاومت فروروی در تیمار کم خاکورزی با کاربرد چیزل مشاهده شد. میانگین مقاومت فروروی در این تیمار در مقایسه با تیمار کاربرد گاواهن برگردان‌دار به تنهایی ۲۲/۷ درصد بیش‌تر بوده است (شکل ۴-۲۲). شدت نرم‌شدگی خاک در تیمار گاواهن برگردان‌دار بیش‌تر از تیمار کم‌خاکورزی بوده و همین امر باعث شده با وجود ماده آلی بیش‌تر و وضعیت ساختمانی پایدارتر در تیمار چیزل، مقاومت مکانیکی خاک در تیمار چیزل در مقایسه با گاواهن برگردان‌دار بیش‌تر باشد.

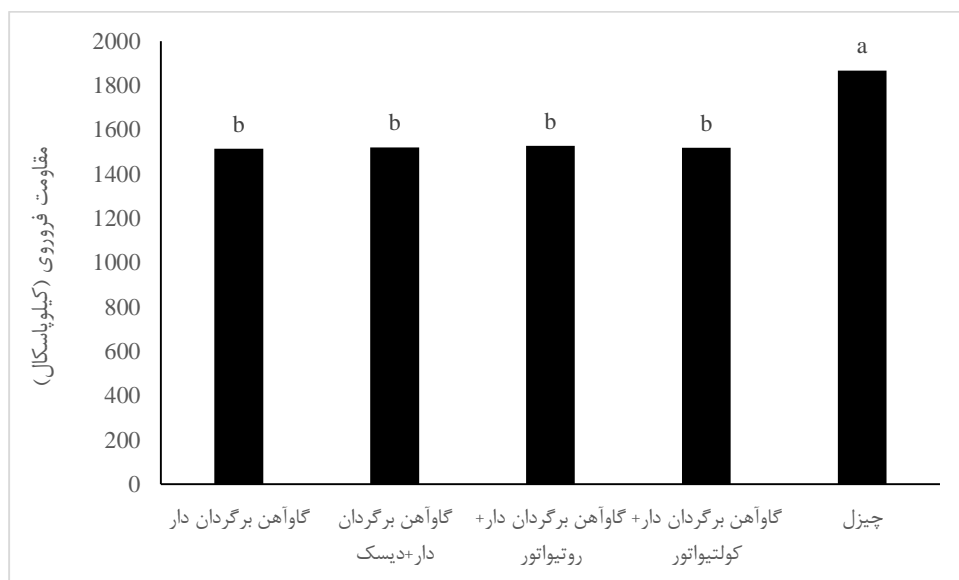
همچنین کاربرد ادوات خاکورزی ثانویه پس از گاواهن برگردان‌دار سبب کاهش مقاومت فروروی خاک در مقایسه با تیمار کاربرد گاواهن برگردان‌دار به تنهایی در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در مکش ۵۰۰۰ سانتی‌متر شده است. نرم‌شدگی بیش‌تر خاک در این تیمارها باعث کاهش مقاومت فروروی خاک در سطح شده است. کم‌ترین مقاومت فروروی خاک در تیمار کاربرد روتیواتور مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با سایر ابزارهای ثانویه نداشته است (شکل ۴-۲۲).



شکل ۴-۲۲- تأثیر تیمارهای خاکورزی بر مقاومت فروری خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۵۰۰۰ سانتی‌متر

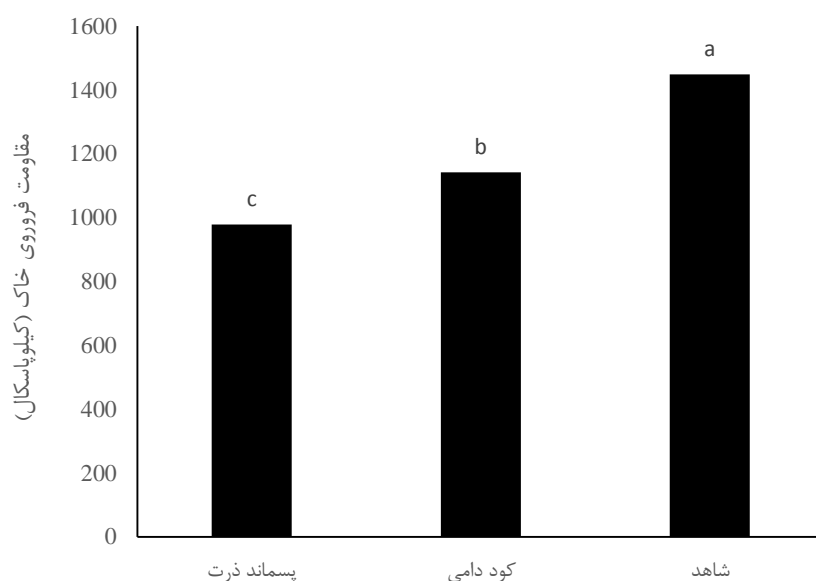
بررسی مقاومت فروری خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۵۰۰۰ سانتی‌متر نشان داد که بیش‌ترین مقدار این شاخص در تیمار کم‌خاکورزی چیزل مشاهده شد (شکل ۴-۲۳). کاربرد گاواهن برگردان‌دار در سایر تیمارها سبب نرم‌شدگی خاک عمقی در مقایسه با چیزل شده که تنها سطح خاک را به صورت محدود خراش داده و به مقدار بسیار کم نرم می‌نماید. مورنو و همکاران (۱۹۹۷) نیز در مطالعه‌ای نشان دادند که مقاومت فروری خاک در سیستم کم‌خاکورزی نسبت به خاکورزی مرسوم به ویژه در عمق به طور معنی‌داری بیش‌تر است.

همچنین کاربرد ابزارهای خاکورزی ثانویه باعث کاهش معنی‌داری در مقاومت فروری خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری در مقایسه با تیمار گاواهن برگردان‌دار به تنهایی نشده است (شکل ۴-۲۳). همانطور که قبلاً اشاره شد عمق کار ابزارهای خاکورزی ثانویه حداکثر محدود به ۱۰ سانتی‌متر بالایی خاک بوده و اثر این ابزارها در عمق قابل مشاهده نیست. مطالعات نشان داده است که افزایش عمق خاکورزی سبب افزایش عمق نرم‌شدگی خاک و در نتیجه کاهش مقاومت فروری خاک خواهد شد (آرودسان ۱۹۹۸). شیرانی و همکاران (۱۳۸۹) نیز نشان دادند که کاربرد گاواهن برگردان‌دار به صورت عمقی در مقایسه با کاربرد دیسک در سطح خاک سبب کاهش مقاومت فروری خاک شده است.

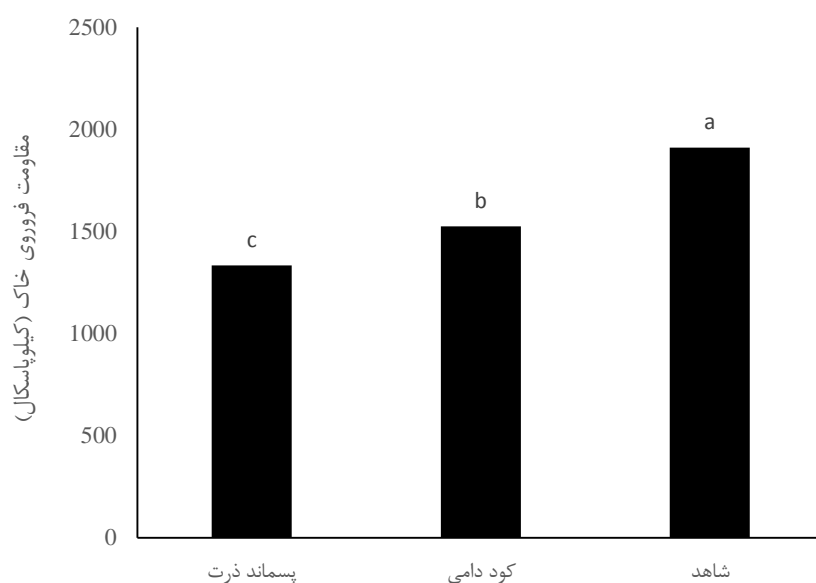


شکل ۴-۲۳- تأثیر تیمارهای خاکورزی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۵۰۰۰ سانتی‌متر

نتایج آنالیز آماری نشان داد که در مکش ماتریک ۵۰۰۰ سانتی‌متر تأثیر کاربرد کود آلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر معنی‌دار بوده است. به گونه‌ای که در هر دو عمق مورد مطالعه اختلاط کود آلی با خاک سبب کاهش مقاومت فروروی خاک شده است. کم‌ترین مقاومت فروروی خاک در تیمار کاربرد پسماند ذرت در هر دو عمق مورد مطالعه مشاهده شد (شکل ۴-۲۴ و ۴-۲۵). بیش‌تر بودن نسبت C:N در پسماند ذرت در مقایسه با کود دامی سبب کاهش تجزیه پذیری این بقایا شده است. احتمالاً حضور مواد آلی تازه تأثیر بیشتری بر افزایش ماده آلی خاک و کاهش مقاومت فروروی و کاهش تراکم‌پذیری آن داشته است (بهارلویی و موسوی، ۱۳۹۵).



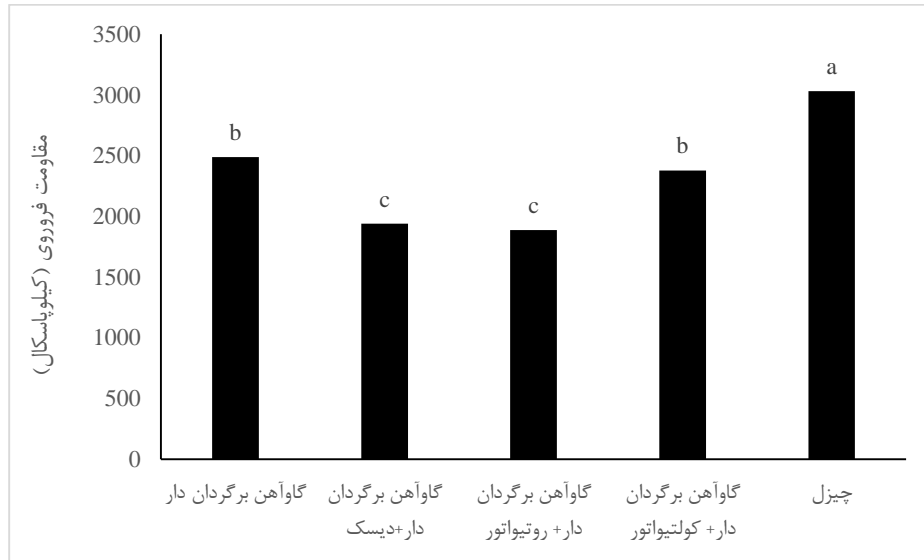
شکل ۴-۲۴- تأثیر مواد آلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۵۰۰۰ سانتی‌متر



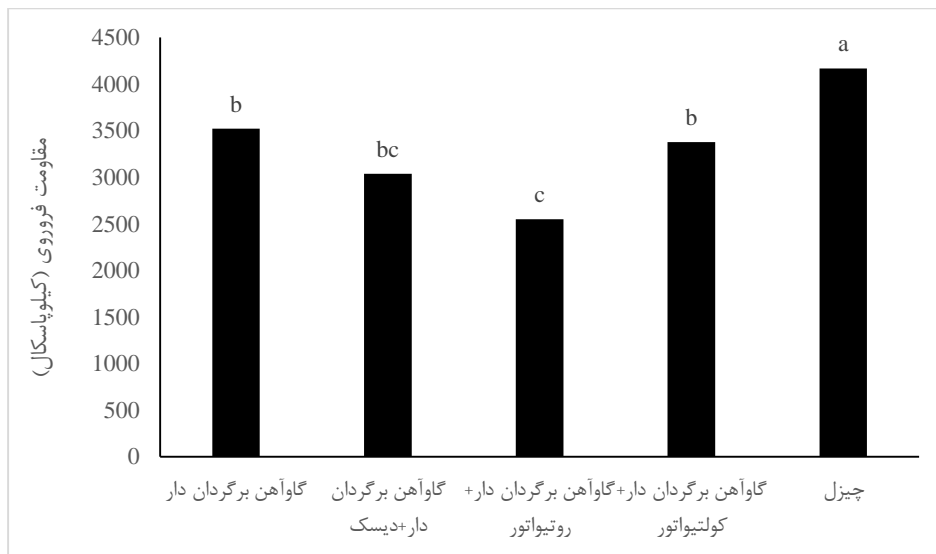
شکل ۴-۲۵- تأثیر مواد آلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۵۰۰۰ سانتی‌متر

مقایسه میانگین مقاومت فروروی در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در مکش ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر نشان داد که بیش‌ترین میانگین مقاومت مکانیکی در تیمار کم‌خاک‌ورزی با کاربرد چیزل مشاهده شد و کاربرد گاواهن برگردان‌دار در سایر تیمارها مقاومت فروروی خاک را کاهش داده است. استفاده از ابزارهای خاک‌ورزی ثانویه سبب کاهش مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری در این دو

مکش شده است. با این وجود توان خردکنندگی کم کولتیواتور باعث مشاهده عدم تفاوت معنی دار مقاومت فروری در این تیمار با کاربرد گاوآهن برگردان دار به تنهایی شده است (شکل ۴-۲۶ و ۴-۲۷).



شکل ۴-۲۶- تأثیر روش خاکورزی بر مقاومت فروری خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۱۰۰۰۰ سانتی متر

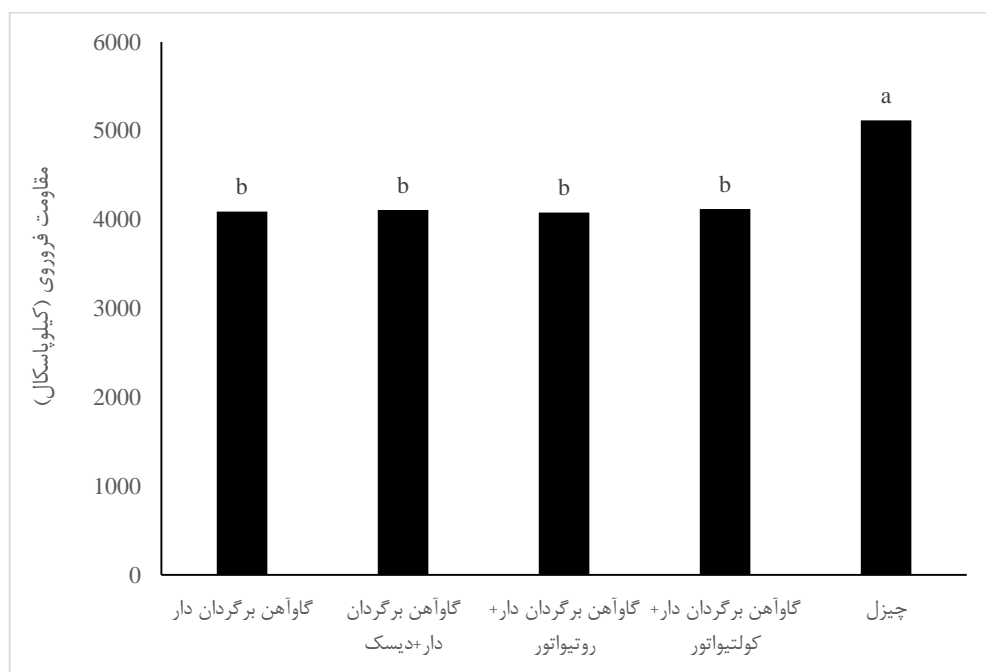


شکل ۴-۲۷- تأثیر روش خاکورزی بر مقاومت فروری خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۱۵۰۰۰ سانتی متر

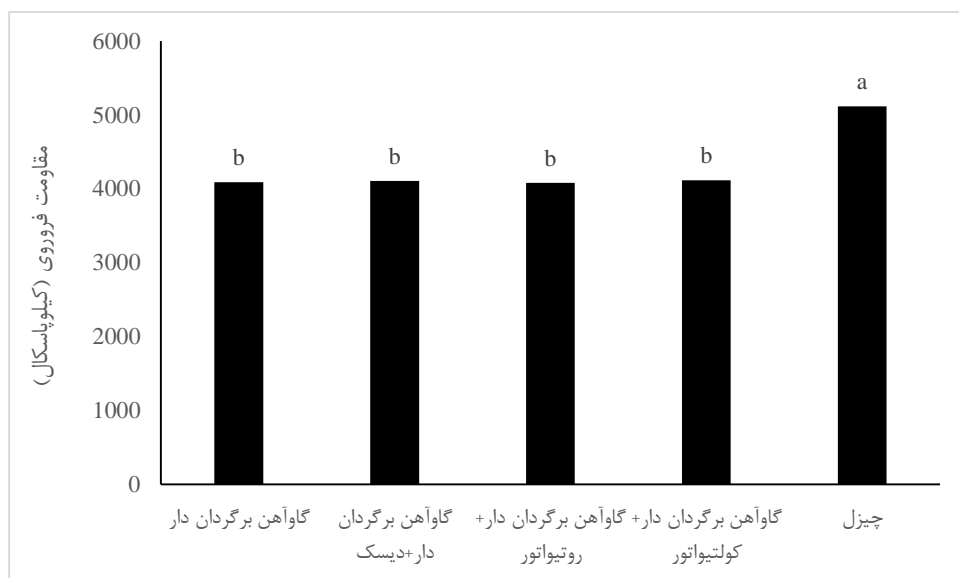
بررسی مقاومت فروری خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر در مکش ماتریک ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی متر نشان داد که بیشترین مقدار این شاخص در تیمار کم خاکورزی چیزل مشاهده شد (شکل ۴-۲۸ و ۴-۲۹). در این مکش‌های ماتریک نیز با وجود مقاومت مکانیکی زیاد خاک، کاربرد گاوآهن



برگردان دار توانسته با نرم نمودن خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متر سبب کاهش مقاومت فروروی خاک در مقایسه با تیمار کاربرد چیزل شود. به علاوه در تیمار چیزل نه تنها فقط خاک سطحی اندکی نرم شده، بلکه عبور تراکتور باعث ایجاد تراکم در عمق خاک شده است. در حالی که طبق نتایج سایر محققین کاربرد گاواهن برگردان دار اثر تراکمی چرخ‌ها را کاهش می‌دهد (کومیا و همکاران ۱۹۹۴) افزایش چگالی ظاهری در عمق خاک نشان‌دهنده افزایش تراکم در عمق بوده است.



شکل ۴-۲۸- تأثیر روش خاکورزی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر



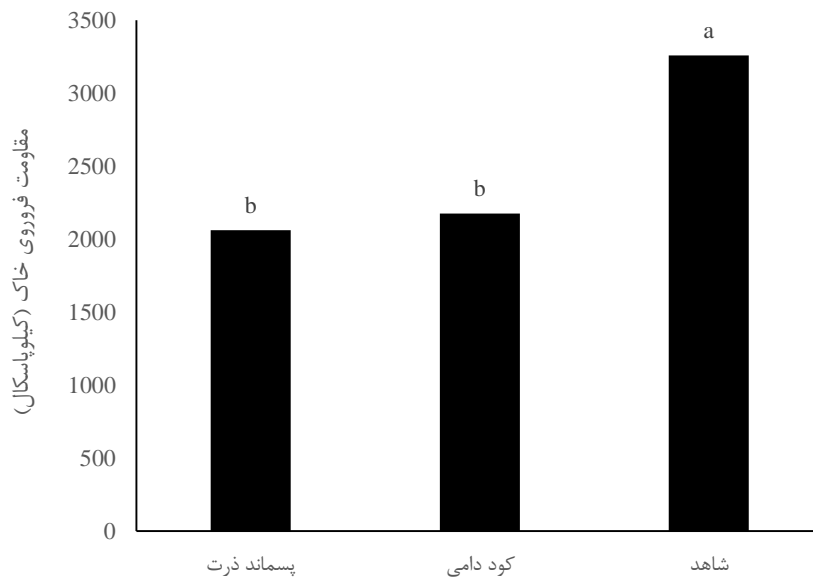
شکل ۴-۲۹- تأثیر روش خاکورزی بر مقاومت فروری خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر

همچنین کاربرد ابزارهای خاکورزی ثانویه باعث کاهش معنی‌داری در مقاومت فروری خاک در مکش‌های ماتریک ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری در مقایسه با تیمار گاواهن برگردان‌دار به تنهایی نشده است (شکل ۴-۲۸ و ۴-۲۹). همانطور که قبلاً اشاره شد عمق کار ابزارهای خاکورزی ثانویه حداکثر محدود به ۱۰ سانتی‌متر بالایی خاک بوده و اثر این ابزارها در عمق قابل مشاهده نیست. مطالعات نشان داده است که افزایش عمق خاکورزی سبب افزایش عمق نرم شدگی خاک و در نتیجه کاهش مقاومت فروری خاک خواهد شد (بهارلویی و موسوی، ۱۳۹۵).

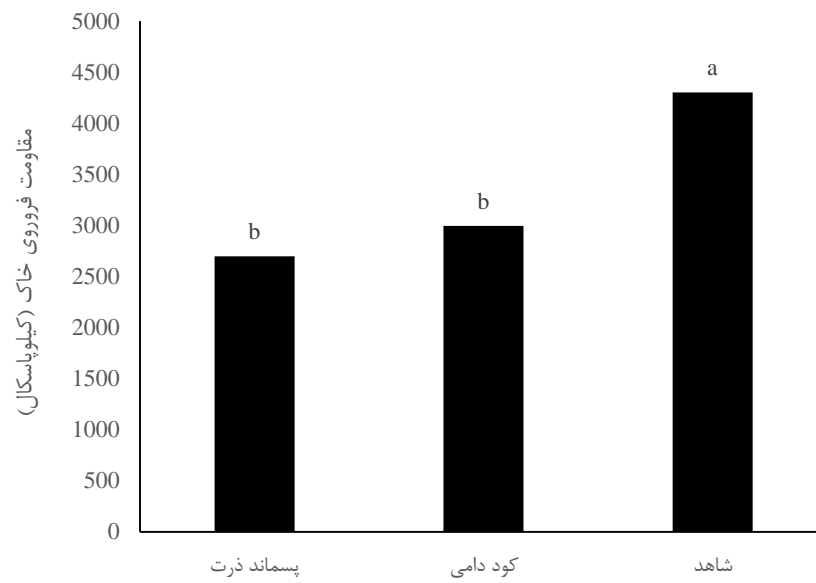
مقاومت مکانیکی در دو مکش ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر در عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر زیاد بوده، به گونه‌ای که مقاومت فروری در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر، در همه تیمارها به جز تیمار کاربرد دیسک و روتیواتور در مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر و در همه تیمارها در مکش ماتریک ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر، به طور میانگین بیش از ۲ مگاپاسکال بوده است. با این وجود توان خردکنندگی زیاد روتیواتور باعث شده تا کم‌ترین مقاومت مکانیکی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در تیمار کاربرد روتیواتور مشاهده شود و در مکش ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر مقاومت مکانیکی به کم‌تر از ۲ مگاپاسکال کاهش یابد (شکل ۴-۲۶).

و ۴-۲۷). در حالی که در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در دو مکش ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر، مقاومت فروری در همه تیمارها بیش از ۲ مگاپاسکال بوده است. پژوهش‌های گذشته محدودیت رشد و عدم توانایی رشد مناسب ریشه در خاک‌های با مقاومت بیش از ۲ مگاپاسکال را گزارش نموده‌اند (وارسا و همکاران ۱۹۹۷، کرزیک و همکاران ۲۰۰۰).

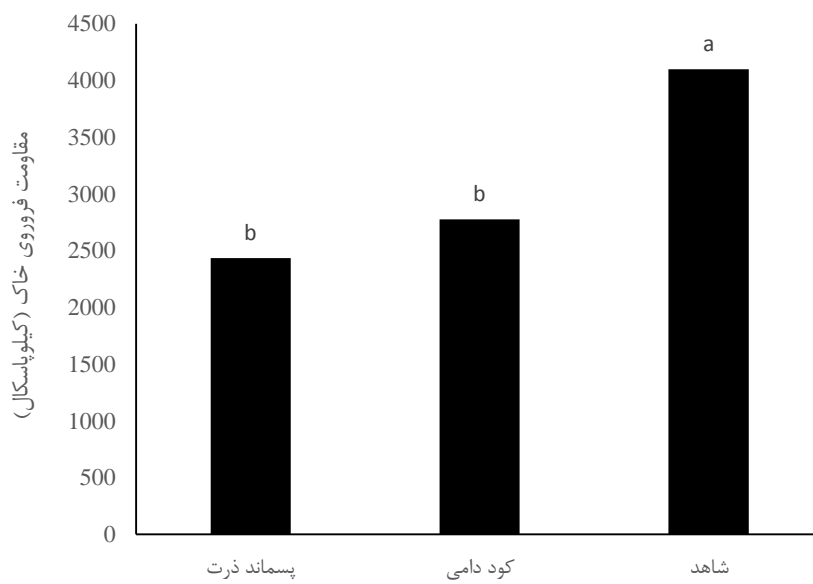
نتایج آنالیز آماری نشان داد که تأثیر کاربرد کود آلی بر مقاومت فروری خاک در عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر معنی‌دار بوده است. به گونه‌ای که در هر دو عمق و در هر دو مکش مورد مطالعه اختلاط کود آلی با خاک سبب کاهش مقاومت فروری خاک شده است (شکل ۴-۳۰، ۴-۳۱، ۴-۳۲ و ۴-۳۳).



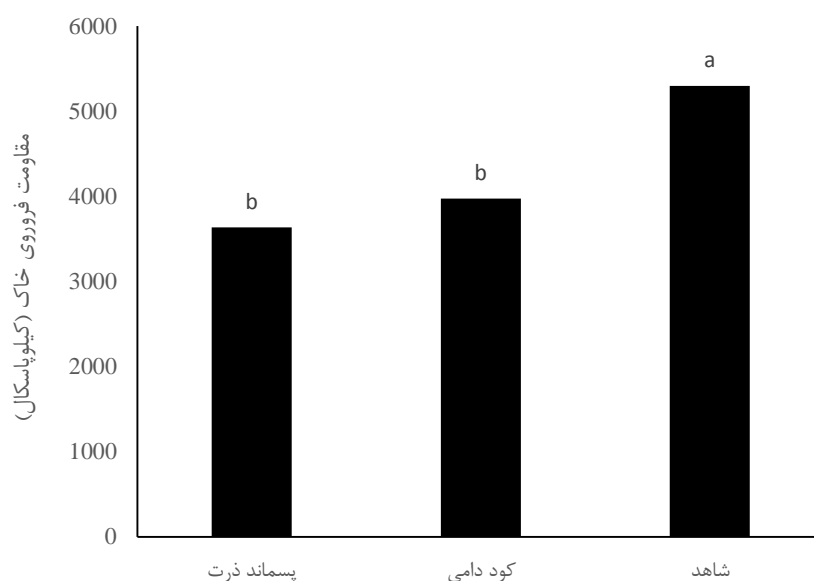
شکل ۴-۳۰- تأثیر مواد آلی بر مقاومت فروری خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر



شکل ۴-۳۱- تأثیر موادآلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر



شکل ۴-۳۲- تأثیر موادآلی بر مقاومت فروروی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۱۰۰۰۰ سانتی-متر



شکل ۴-۳۳- تأثیر مواد آلی بر مقاومت فروری خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در مکش ماتریک ۱۵۰۰۰ سانتی-متر

با وجود کاهش مقاومت مکانیکی خاک در اثر افزودن مواد آلی در هر دو عمق مورد مطالعه، افزودن مواد آلی نتوانسته مقاومت مکانیکی خاک در دو مکش ماتریک ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر را به کم‌تر از ۲ مگاپاسکال کاهش دهد و در نتیجه محدودیت‌های رشد ریشه به لحاظ مقاومت مکانیکی خاک وجود داشته است (کرزیک و همکاران ۲۰۰۰). عدم کاهش مقاومت مکانیکی خاک در حد مطلوب احتمالاً به دلیل افزودن مقادیر کم مواد آلی بوده است. نتایج برخی مطالعات نشان داده است که کاربرد مقادیر زیاد مواد آلی در خاک می‌تواند منجر به کاهش تراکم‌پذیری خاک شود (بهارلویی و موسوی، ۱۳۹۵). شیرانی و همکاران (۱۳۸۹) نیز تأثیر بقایای آلی به میزان صفر، ۲۷ و ۶۰ تن در هکتار را بر تراکم‌پذیری خاک مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که بیش‌ترین تأثیر در کاهش تراکم‌پذیری را تیمار کودی ۶۰ تن در هکتار خاک داشت.



# فصل پنجم: نتیجه گیری

## ۵-۱- نتیجه‌گیری کلی

پس از انجام آزمایشات مزرعه‌ای نتایج و پیشنهادهایی که طی انجام مراحل مختلف این پژوهش به دست آمده است را می‌توان در قالب مواردی زیر خلاصه نمود.

✓ تأثیر ابزارهای مختلف خاکورزی بر ماده آلی خاک معنی‌دار بوده است. بیش‌ترین مقدار ماده آلی در روش کم‌خاکورزی به کمک چیزل و کم‌ترین آن در تیمار کاربرد روتیواتور پس از گاواهن برگردان‌دار مشاهده شده است. همچنین کاربرد پسماند ذرت بیش‌ترین تأثیر را در افزایش ماده آلی خاک نسبت به تیمار شاهد داشت.

✓ چیزل کم‌ترین اثر را در تخریب ساختمان خاک داشته، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و کم‌ترین مقدار رس قابل پراکنش در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در این تیمار مشاهده شد. روش خاکورزی مرسوم به کمک گاواهن برگردان‌دار سبب تخریب ساختمان خاک شده و بیش‌ترین رس قابل پراکنش و کم‌ترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمار کاربرد گاواهن برگردان و روتیواتور مشاهده شد.

✓ کاربرد موادآلی باعث بهبود ساختمان خاک شده اما تنها کاربرد پسماند ذرت سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شده است.

✓ کاربرد ابزارهای خاکورزی ثانویه سبب کاهش چگالی ظاهری خاک و افزایش تخلخل خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک در مقایسه با کاربرد چیزل و گاواهن برگردان‌دار به تنهایی شده است. در حالی که در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری کم‌ترین چگالی ظاهری و بیش‌ترین میزان تخلخل در تیمار گاواهن برگردان‌دار مشاهده شد و سایر ابزارهای خاکورزی مورد استفاده با توجه به عمق کاری خود و اثر تراکمی چرخ‌ها چگالی ظاهری بیش‌تری داشته‌اند. کاربرد مواد آلی سبب کاهش چگالی ظاهری و افزایش تخلخل خاک در هر دو عمق مورد مطالعه شد و بیش‌ترین تأثیر مربوط به تیمار پسماند ذرت بوده است.



✓ کاهش رطوبت خاک سبب افزایش مقاومت فروروی خاک شد. بیشترین مقاومت فروروی خاک در همه مکش‌های مورد مطالعه در تیمار کم خاکورز چپزل و کم‌ترین آن در تیمار کاربرد روتیواتور همراه با گاواهن برگردان‌دار مشاهده شد. استفاده از مواد آلی سبب کاهش مقاومت فروروی خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد.

✓ مقاومت فروروی خاک در هر دو عمق مورد مطالعه در مکش‌های ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر بیش از ۲ مگاپاسکال بوده که نشان دهنده محدودیت شدید برای رشد ریشه گیاه است. کاربرد مواد آلی مقاومت فروروی را کاهش داده اما این مقاومت همچنان بیش از ۲ مگاپاسکال در این دو مکش بوده است.

#### ۵-۲- پیشنهادات

- به منظور بررسی دقیقتر تأثیر روشهای مختلف خاکورزی بر پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک، پیشنهاد می‌شود آزمایشات جامعتری توسط دیگر ادوات و ابزارهای خاکورزی انجام شود تا بتوان به شرایط بهینه و مطلوب خاکورزی و متناسب با محصول مورد نظر دست یافت.

- با توجه به پارامترهای به دست آمده از خاک که در کوتاه مدت مورد بررسی قرار گرفته شد، پیشنهاد می‌شود که تأثیرات بلندمدت روشهای خاکورزی مختلف بر روی پارامترهای متفاوت خاک مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان به نتایج دقیق‌تری دست یافت.

- بررسی تأثیر سرعت‌های مختلف ادوات خاکورزی، برای تعیین خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک انجام شود

- بررسی مصرف سوخت و همچنین مقدار کربن یا دی‌اکسید کربن وارده بر هوا توسط ادوات مختلف خاکورزی برای تعیین روش مناسب و بهینه در مصرف انرژی و همچنین حفظ سلامت محیط زیست

## فهرست منابع (فارسی و لاتین)

- احمدی مقدم پ.، افتخاری ل.، مردانی ع. و خداوردیلو ح. (۱۳۹۵) "تعیین مقدار بقایای گیاهی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک در سیستم‌های خاکورزی مختلف" نشریه ماشین‌های کشاورزی. جلد ۶، شماره ۱. صفحه ۱۱۳-۱۰۲.
- افتخاری ل. (۱۳۹۲) "بررسی تأثیر سیستم‌های خاکورزی حفاظتی بر مقدار بقایای گیاهی و مقاومت غلته‌ی چرخ غیر محرک" پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. صفحه ۱۶.
- افضلی نیا ص.، دادکرمی ع. و روستا م. (۱۳۹۷) "اثر کشاورزی حفاظتی و خصوصیات خاک و عملکرد کنگد در تناوب با گندم" نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی دوره ۳۱، شماره سه.
- امویی ع.، اصغر نیا ح. و خدادادی ع. (۱۳۸۸) "بررسی کیفیت کود کمپوست تولیدی از پسماندهای روستایی در شهرستان بابل مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران دوره نوزدهم، شماره ۷۴، صفحه ۶۱-۵۵.
- آسودار م. و سبزه‌زار ه. (۱۳۸۷) "سیستم‌های خاکورزی حفاظتی" نشر آزمون کشاورزی کرج.
- بای‌بوردی ی. م.، ملکوتی م ج.، امیرمکری ه. و نفی م. (۱۳۸۳) "تولید و مصرف بهینه کود شیمیایی در راستای اهداف کشاورزی پایدار". نشر آموزش کشاورزی، کرج. ۲۸۲ صفحه
- بیات ح، محجوبی ع ا، حاج عباسی م ع و مصدقی م. (۱۳۸۶) "اثر سیستم‌های خاکورزی و انواع ماشین‌های کشاورزی بر جرم مخصوص خاک، شاخص مخروطی و پایداری ساختمان یک خاک لوم شنی" مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۲، صفحه ۴۶۱-۴۵۱
- تاج بخش م.، حسن زاده ع. و درویش زاده ب. (۱۳۸۴) "کودهای سبز در کشاورزی پایدار" انتشارات جهاد دانشگاهی واحد ارومیه.
- توحیدلو ق. (۱۳۸۰) "گزارش پژوهشی سالانه بخش تحقیقات چغندر قند". ۱۱۴ صفحه.

توشیح و. (۱۳۸۲) "اثر استفاده از کاه و کلش گندم دیم در زمان آیش بر عملکرد و میزان پروتئین دانه و برخی خصوصیات خاک". مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۷، شماره ۲. ص ۱۶۰-۱۵۱

جعفری س.، گلچین ا. و طولابی فرد ا. (۱۳۹۵) "تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات اجزاء فیزیکی ماده آلی، میزان رس قابل انتشار و پایداری خاکدانه‌ها در برخی از اراضی استان خوزستان" تحقیقات آب و خاک، شماره ۳. صفحه ۶۰۳-۵۹۳.

حاج عباسی م.ع. و مصدقی م. (۱۳۸۶) "اثر سیستم‌های خاکورزی و انواع ماشین‌های کشاورزی بر جرم مخصوص خاک، شاخص مخروطی و پایداری یک خاک لوم شنی"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۲، صفحه‌های ۴۶۱-۴۵۱.

حبیبی اصل ج. و گیلانی ع. (۱۳۹۳) "تأثیر روش‌های خاکورزی و کاشت برنج بر پارامترهای فنی ماشین، عملکرد و اجزای عملکرد گندم و مدیریت بقایا در تناوب برنج-گندم در خوزستان" مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۱۵. شماره ۲. صفحه ۶۲-۴۵

حسن زاده م. (۱۳۸۸) "زراعت و پرورش گیاهان با بهره‌گیری از کود سبز" دانشگاه اصفهان، صفحات ۱۰ و ۱۷ و ۳۰ و ۳۸ و ۴۲ و ۶۶.

حیدری ا. (۱۳۹۰) تأثیر روش‌های خاکورزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و عملکرد گندم آبی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی سال پانزدهم، شماره پنجاه و هفتم، صفحه ۱۲۴-۱۱۵

درستکار و. (۱۳۸۹) "تأثیر بقایای گیاهان زراعی و بیش انباشتگر بر قابلیت جذب روی در خاک و غلظت آن در دانه گندم" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

درستکار و. (۱۳۹۴) "تأثیر قارچ آربوسکولار میکوریزا بر پایداری ساختمان، کیفیت فیزیکی خاک و آب قابل استفاده برای گیاه در سطوح مختلف شوری" رساله دکترا، دانشگاه صنعتی اصفهان.

درستکار و. و والی ر. (۱۳۹۶) "بررسی پایداری ساختمان و آبگریزی خاک در پاسخ به افزودن بقایای برگ انگور و پوست انار در سطوح مختلف شوری" مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۲.

دیانت بهارلویی ز. و موسوی ع. (۱۳۹۵) "تأثیر کمپوست و ضایعات میوه رسیده انجیر بر برخی

ویژگی‌های فیزیکی خاک سطحی " نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۳۰، شماره ۲، صفحه ۵۳۱-۵۲۲.

رضایی چپانه ا.، تاجبخش م.، قیاسی م. و امیرنیا ر. (۱۳۹۴) "بررسی اثر تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه نخود (cicerarietinuml) تحت شرایط دیم" مجله پژوهش در گیاهان زراعی جلد سوم، شماره ۱.

رفیعی ل.، صدیقی ح. و پزشکی راد غ. (۱۳۹۴) "بررسی نقش دانش، نگرش و منابع اطلاعاتی گندمکاران در پذیرش خاکورزی حفاظتی شهرستان اراک" مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران دوره ۲-۴۶، شماره چهار، صفحه ۶۵۴-۶۴۵.

ریایی نیا ف.، امامی ح. و زنگی م. (۱۳۹۵) "تأثیر عملیات خاکورزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک" پنجمین همایش سامانه‌های سطوح آبیگر باران. گیلان-رشت.

شریف آباد ح. و دری م. (۱۳۸۰) "نباتات علوفه‌ای) نیامداران" انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع.

شیرانی ح.، حاج عباسی م.ع.، افیونی م. و همت ع. (۱۳۸۹) "تأثیر سیستم‌های خاکورزی و کود آلی بر مقاومت فروروی خاک تحت کشت ذرت" علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی علوم آب و خاک. صفاهانی لنگرودی ع.ر.، دادگر ت.، پاسندی ر.و مریم ع. (۱۳۹۵) "اثر مدیریت طولانی بقایا، خاکورزی و مصرف کود نیتروژن بر عملکرد ذرت" مجله علوم زراعی ایران، جلد ۱۸، شماره ۱.

علیزاده کلاسی م. (۱۳۸۹) "کود سبز و کشاورزی پایدار" فصلنامه کشاورزی نوین، شماره ۳۰، صفحات ۷ و ۱۰ و ۱۱ و ۲۰.

کمیلی ح.، رضوانی مقدم پ.، قدسی م.، نصیری محلاتی م. و جلال کمالی م. (۱۳۹۵) "اثر روشهای مختلف خاکورزی و میزان بقایای گیاهی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بازده اقتصادی گندم" مجله تحقیقات غلات، شماره ۳، صفحه ۳۳۷-۳۲۳.

کمیلی ح.، قدسی م.، رضوانی مقدم پ.، نصیری محلاتی م. و جلال کمالی م. (۱۳۹۷) "مطالعه

خصوصیات خاک، عملکرد و اجزای عملکرد جو تحت تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی و میزان بقایای گیاهی " نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، شماره ۲، صفحه ۵۵۶-۵۴۱.

کوثری مقدم ا.، صدر نیا ح.، عاقل ح. و بنیان م. (۱۳۹۵) "پیش بینی روزهای کاری برای عملیات خاکورزی ثانویه و کاشت پاییزه" نشریه ماشین‌های کشاورزی جلد ۶، شماره ۲ صفحه ۵۴۶-۵۳۷.  
کوچکی ع و برومند رضا زاده ز. (۱۳۸۷) "خاکورزی در بوم نظام‌های زراعی" انتشارات دانشگاه فردوسی، ۴۳۸ صفحه

کیانی م.، جهانسوز م. و احمدی ع. (۱۳۹۴) "تأثیر روش‌های خاکورزی و ارقام نخود (Cicerarietinum) در کشت اول، بر رشد و عملکرد ذرت علوفه (Zeamays)" مجله علوم گیاهان زراعی دوره ۴۶، شماره ۳ صفحه ۴۳۸-۴۳۳.

محسنی منش ا.، و مجیدی ایرج، ح. (۱۳۷۷) "اثر روش‌های مختلف تهیه زمین بر عملکرد گندم آبی" گزارش پژوهش نهایی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی. مؤسسه تحقیقاتی فنی و مهندسی کشاورزی. نشریه شماره ۱۰۷.

محمدی خ.، پاساری ب.، رخزادی ا.، قلاوند ا.، آقاعلیخانی م. و اسکندری م. (۱۳۹۰) "واکنش عملکرد و کیفیت دانه کلزا به منابع مختلف کود دامی، کمپوست و بیولوژیک در منطقه کردستان" مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، جلد چهارم، شماره دوم، صفحه ۱۰۱-۸۱.

محمدی خ.، نبی‌الهی ک. و آقا علیخانی م. (۱۳۸۸) "بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد و اجزای گندم دیم" مجله پژوهش‌های تولید گیاهی جلد شانزدهم، شماره چهارم.

مرادی ف.، قربانی ز.، میساقی پ. و خلیلی ب. (۱۳۹۴) "عوامل تأثیر گذار بر مقاومت فروروی در سه کاربری بایر، زراعی و نیشکر برخی خاک‌های خوزستان" نشریه پژوهش‌های علوم خاک (علوم و آب)، جلد ۹. شماره ۲.

مسکر باشی ع.، بخشنده ع.، نبی پور م. و کاشانی ع. (۱۳۸۵) "بررسی اثر بقایای گیاهی و کود

شیمیایی بر جذب نیتروژن، عملکرد گندم و موادآلی خاک در اهواز" علوم زراعی ایران، جلد ششم، شماره ۶، صفحه ۲۴۷-۲۳۹.

مصدقی م.ر.، افیونی م. و همت ع. (۱۳۸۰) "اثر دو شیوه خاکورزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در کارولینای شمالی آمریکا و مقایسه آن با شرایط ایران." هفتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه شهر کرد.

مظاهری د. و مجنون حسینی ن. (۱۳۸۲) "مبانی زراعت عمومی". انتشارات دانشگاه تهران.  
ملکوتی م.، نفیسی م. و خاوازی ک. (۱۳۸۳) "مصرف بهینه کود، گامی ارزنده به سوی امنیت غذایی و دستیابی به کشاورزی پایدار" مجموعه مقالات اصول تغذیه ذرت، بهینه سازی مصرف کود، گامی بسوی خودکفایی در تولید ذرت در کشور، انتشارات سنا، صفحات: ۳۷-۱۲.

منصوری راد د. (۱۳۷۸) تراکتورها و ماشینهای کشاورزی (جلد اول) انتشارات دانشگاه بوعلی سینا. همدان ۸۵۳ صفحه.

موسوی بوگر ا.، جهانسوز م.، مهرور م.، حسینی پور ر. و مددی ر. (۱۳۹۱) "بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک و عملکرد ارقام گندم آبی تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی مجله زراعت و اصلاح نباتات جلد هشت، شماره ۲. صفحات ۲۰-۱۱

میرزا شاهی ک. و سعادت. (۱۳۸۹) "تأثیر موادآلی مختلف بر عملکرد کلزا و برخی خصوصیات خاک در شمال خوزستان" مجله پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب) جلد بیست و چهارم. شماره ۱، صفحه ۲۹-۲۱.

نیکپور م.، محبوبی ع.، صدقی م. و صفادوست ا. (۱۳۹۰) "بررسی اثر ویژگی‌های ذاتی خاک بر پایداری ساختمان برخی از خاکهای استان همدان" مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. شماره ۵۸.

هودیانی مهر ع.، دهمرده م.، خمیری ع. و اصغری پور چمن م. (۱۳۹۶) "اثر سیستم‌های خاکورزی بر محتوی عناصر غذایی خاک، عملکرد و نسبت برابری زمین در کشت مخلوط چای ترش - ماش" نشریه

پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۱۵، شماره ۲. صفحه ۳۲۲-۳۱۱.

یونسی الموتی م.، صلح جو ع.ا.، شریفی ا.، جوادی ا.، اشرفی زاده ر. و تاکی ا. (۱۳۹۵) "راهنمای خاکورزی حفاظتی و کاربرد آن" مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و دفتر ترویج کشاورزی و منابع طبیعی.

Allen R.R. and Musick J.T. (1997). "Furrow irrigation in iteration with multiple traffic and increased axle mass", Application England Agrigation. 13: 39-45.

Aluko O.B. and Koolen A.J. (2011). "The essential mechanics of capillary crumbling of structured soils", Soil Till. Res 55: 117-126.

Arvidsson J. (1998). "Effects of cultivation depth in reduced tillage on soil physical properties, crop yield and plant pathogens", Eur. J. Agron. 9: 79-85.

Aykas E., cakir E. and Gulsoylu E. (2004). "The effect tillage parameters of the heavy duty off-set disk harrow", Asian Journal of Plant Sciences 3(4):428-425.

Balesdent J., Chenued c. and Balabane M. (2000). "Relationships of soil organic matter dynamic to physical protection and tillag", Soil and Tillage Research.53: 215-230.

Bhattacharyya R., Chandra S., Singh R.D., Kundu S., Srivastva A.K. and Gupta H.S. (2007). "Long-term farmyard manure application effects on properties of a silty clay loam soil under irrigated wheat-soybean rotation", Soil and Tillage Research, 94: 386-396.

Biederbeck V.O. and Bouman O.T. (1994). "Water use by annual green manure legumes", Agron, J, 86: 543-549.

Blake G. R. and Hartge KH. (1986). "Bulk density.p, In A Kiute (ed). Methods of Soil Analysis", Part. 1 .Physical and Mineralogical Methods and ed. Agron Monogr. 9. ASA and SSSA: 363-382.

Bronick C. J. and Lal R. (2005). "Soil structure and management: a review", Geoderma, 124: 3-22.

Burt R., Reinsch T.G. and Miller W,P. (1993). "A micro-pipette method for water dispersible clay", Communications in Soil Scienand Plant Analysis 24:2531- 2544.

Burt R., Reinsch T.G. and Miller W. P. (1993). "A micro-pipette method for water dispersible clay", Communicathons in Soil science and Plant Analysis, 24:2531-2544

Busscher W. J., Frederick J.R and Baure P.J. (2000). "Timing effects of deep tillage

on penetration resistance and wheat and soybean yield", *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 64: 999-1003.

Celik I., Gunal M.H Budak. and Akpinar C. (2010). "Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions", *Geoderma*. 160: 236–243.

Christensen B. T. (2002). "Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turn over", *European Journal of Soil Science*. 52: 345-353.

Comia R.A., Stenberg M., Nelson P. Rydberg T. and Håkansson I. (1994). "Soil and crop responses to different tillage systems", *Soil and Tillage Research*, 29(4), pp, 335-355.

Czarnes S., Hallett P.D., Bengough A.G. and Young I.M. (2000). "Root and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport", *European Journal of Soil Science*, 51: 435–443.

Dasilva A.P., Kay B.D. and Perfec. (1994). "Characterization of the least limiting water of soils", *Soil Sci. Soc. Am. J.*58: 1775-1781.

Dotaniya M.L. (2013). "Impact of crop residue management practices on yield and nutrient uptake in rice-wheat system", *Current Advances in Agricultural sciences* 5: 296-271.

De Vita P., Di Paolo E., Fecondo G., Di Fonzo N. and Pisante M. (2007). "No- tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy", *Soil and Tillage Research*, 92: 69-78.

Farooq, U., Sharif, M., and Erenstein, O. 2007. Adoption and impacts of zero tillage

Eickout B., Bouwan A.F. and Vanzeijts H. (2006). "The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability", *Agriculture Ecosystems and Environment*. 116: 4-14.

Ekwue E. I. and Stone R. J. (1994). "Effect of peat on the compactibility of some Trinidadian soils", *J. Agric. Eng. Res.* 57: 129-136

Fageria N.K., Baligar V.C. and Jones C.A. (1991). "Growth and mineral nutrition of field crops Marcel Dekker", Inc. New York, pp, 476.

Forrestal P., Meisinger J. and Kratochvil R. (2014). "Winter wheat starter nitrogen management: a preplant soil nitrate test and site-specific nitrogen loss potential", *Soil Science Society of America Journal*, 78: 1021-1034.



- Jabro J.D., Iversen W.M., Stevens W.B., Evans R.G., Mikha M.M. and Allen B.L. (2015). "Physical and hydraulic properties of a sandy loam soil under zero, shallow and deep tillage practices", *Soil Tillage Res.* 159: 67–72.
- Jin H., Hongwena Li., Rabi G., Rasaily A.B., Qingjiea W., Guohuaa C., Yanboa S., Xiaodonga Q. and Lnijic L. (2011). "Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat–maize cropping system in North China Plain". *Soil and Tillage Research* 113: 48–54.
- Kaplan D.I., Bertsch P.M. and Adriano D.C. (1997). "Mineralogical and physicochemical differences between mobile and non-mobile colloidal phases in reconstructed pedons", *Soil Science Society American Journal*, 61: 641–649.
- Koller K. (2003). "Techniques of Soil tillage", In: *Soil tillage in agroecosystems* (ed. A. ELTiTi), PP. 1-25 CRC Press. Boca Reton, Fl.
- Krzic M., Fortin M.C. and A.A. Bomke. (2000). "Short-term responses of soil physical properties to corn tillageplanting systems in a humid maritime climate", *Soil and Till. Res.* 54: 171-178.
- Lampurlanes J. Cantero-Martinez C. (2006). "Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions", *Soil and Tillage Research.* 85: 13-26.
- Liu A., Ma B.L. and Bomke A.A. (2005). "Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides", *Soil Science Society of American Journal*, 69: 2041–2048.
- Miler P., McConky B. and Clayton G. (2000). "Pulse crop adaptation in the Northern .Great Plains", *AgronomyJournal* 94:261-272.
- Moreno F., Pelegrin F., Fernandez J. E. and Murillo J. M. (1997). "Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain", *Soil and Till. Res.* 41: 25-42.
- Mullins C.E., MacLeod D.A., northcote K.H., Tisdall J.M. and Young I.M. (1990). "Hard-setting soils: behaviour, occurrence and management, p: 37-108. In: Lal, R., Stewart, B.A. (ed.)", *Soil Degradation. Adv. Soil Sci.*, vol. 11. Springer-Verlag, New York.
- Mulumb L. and Lal R. (2008). "Mulching effects on selected soil physical properties". *Soil Science*, 18:9-15.

- Nelson D.W. and Sommers L.E. (1982). "Total Carbon, organic Carbon and organic matter", P, 539-579. In: Keeney D.R., Miller A.L. and Page A.L. (eds). Method of soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Property. Second edition. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin.
- Nemes A., Rawls W.J. and Pappas G.A. (2005). "The of hydraulic conductivity". Soil Sci. Soc. Am. J. 69: 1330-1337.
- Nottidge D.O., Ojienyi S.O. and Asawalam D.O. (2005). "Comparative effects of plant residues and fertilizer on soil properties in a humid ultisol", Nigerian Journal of Soil Science, 15: 9–13.
- Oad F.C., Buriro U.A. and Agha S.K. (2004). "Effect of organic and inorganic Fertilizer application on maize Fodder production", Asian Journal of Plant Science. 3:375-377.
- Ohu J.O., Ekwue E.I. and Folorunso O.A. (1994). "The effect of addition of organic matter on the compaction of a vertisol from Northern Nigeria", Soil technol. 7: 155-162.
- Pratt P.F. (1982). "Fertilizer value of manure", Paper presented at the Agricultural Waste conference. March 1982, Mexico City, Mexico.
- Reicosky D.C., and Allmaras R.R. (2003). "Advances in tillage research in north American cropping"
- Rotz C. A. and Harrigan T.M. (2005). "Predicting suitable days for field machinery operations in a whole farm simulation", Applied Engineering in Agriculture 21 (4): 563-571.
- Rozas H.R.S., Echeverría H.E. and Barbieri P.A. (2004). "Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize". Agronomy Journal, 96(6), 1622-1631.
- Sharma P., Abrol V. and Sharma R.K. (2011). "Impact of tillage and mulch management on economics, energy requirement and crop performance in maize–wheat rotation in rainfed subhumid inceptisols", India. European Journal of Agronomy 34: 46-51.
- Shaver T. M., Peterson G.A. and Sherrod L.A. (2003). "Cropping intensification in dry land systems improves soil physical properties: regression relations", Geoderma, 116: 149–164.
- Singer J.W., Kohler. K.A., Liebman. M.T. Richard, L. (2004). "Cambardella C.A.

and compost affect yield of corn. Soybean and wheat and soil fertility". *Agronomy Journal* 96: 531-537.

Singh Y., Singh B. and Timsi na, J. (2005). "Crop residue management for nutrient cycling and improving soil productivity in rice-based cropping systems in the tropics", *Advances in Agronomy*, 85: 289–407.

Sur H.S., Sidhu A.S., Rachhpal G., Agarwal C. and Sandh K.S. (1993). "Long-term effect of green manure on soil physical properties and production potential in green manure-maize-wheat sequence", *Ann. Agric. Res.* 14: 125-131.

Talgre L., Lauringson E., Roostalu H. and Astovar A. (2009). The "effects of green manures on yields and yield quality of spring wheat Agron", *Res* 7:1. pp, 125-132.

Tejada M., Garcia C., Gonzalez J. L. and Hernandez M.T. (2006). "Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence physical, chemical and biological properties of soil", *Soil Bio. Biochem.* 38: 1413-1421.

Varsa E. C., Chong J. O., Abolaji D. A. and Olsen F. J. (1997). "Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.) root growth and production", *Soil and Till. Res.* 43: 219-228.

Verhulst N., Goverts B., Verachtert E., Castellanos-Navarrete A., Mezzalana M., Wall P., Deckers J. and Sayre K.D. (2010). "Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production system? In: Lal R. and Stewart B.A. (Eds.). "Advances in soil science: Food security and soil quality", CRC Press, Boca Raton, FL, USA. pp:137- 208.

West T.o. and Post W.M. (2002). "Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global meta analysis", *soil science society America journal.* Vol. 66, no. 6, PP. 1930-1946.

Wright A.L. and Hons F.M. (2005). "Tillage impacts on soil aggregation and carbon and nitrogen sequestration under wheat cropping sequences", *Soil and Tillage Res.* 84: 67-75.

Zeytin S. and Aran A. (2003). Influence of composted Hazelnut husk on some physical properties of soils. *Bioresour. Technol.* 88: 241-245.

## **ABSTRAC**

As the world's population grows, the water and soil resources needed to produce human food face serious constraints. In the field of agricultural management, tillage operations are of particular importance. Tillage is one of the most important agricultural operations affecting different soil properties. Using different tools will change the physical, chemical and mechanical properties of the soil. This study aimed to investigate some of the tillage methods (plow plow, plow plow + disk, rotary plow + plow plow, plow plow + cultivator and chessboard), and organic fertilizer (livestock manure and waste) On some soil properties at the Agricultural Research Station of Shahroud University of Technology and in plots measuring 6 10 10 m. Sampling was done after two tillage and fertilizer treatments at two depths of 0-10 and 10-20 cm. The results showed that the highest soil organic matter content was observed at 0-10 depth in Chisel tillage treatment and it was also observed that only corn residual mixing in soil caused significant increase in organic matter compared to manure and control. Chisel had the least effect on the degradation of soil structure, such that the highest mean weight of aggregate diameter and the least amount of dispersible clay at two depths of 0-10 and 10-20 cm were observed. Treatment was observed. Application of organic matter improves soil structure but only residual application of maize significantly increased mean weight diameter of aggregates. The highest soil penetration resistance was observed in all slaughterhouses in the low Chisel tillage treatment and the lowest in the rotator application with inverted plow. Application of organic matter reduced soil penetration resistance compared to the control treatment, but this resistance was more than 2 MPa in two matrix suction of 10,000 and 15000 cm.

**Keywords:** Soil structure stability, tillage, dispersible clay, organic fertilizer, soil penetration resistance.



Faculty of Agriculture

M,Sc Thesis in soil chemistry and Fertility

**Effect of tillage methods and fertilizer type on soil physical, chemical and  
mechanical properties**

**By: Fatemeh Derogari**

**Supervisor:**

D.r: Vajiheh Dorostkar. Shahin Shamsavani

Advisor:

D.r: Mohamad Hadi Movahednejad

September 2019