

## بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی بر برخی از خصوصیات فیزیکی خاک

یدالله قاسمی عبدالملکی، مهدی قاجار سپانلو<sup>1</sup> و محمد علی بهمنیار

دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ ghasemi\_yadi@yahoo.com

دانشیار گروه علوم خاک دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ sepanlu@yahoo.com

استاد گروه علوم خاک دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ mali.bahmanyar@gmail.com

دریافت: 94/4/16 و پذیرش: 94/7/11

### چکیده

تهیه زمین و آماده سازی بستر بذر به عنوان نخستین گام در کاشت هر محصول کشاورزی به حساب آمده و از اهمیت بسزایی برخوردار است. این تحقیق به منظور بررسی تأثیر سه روش مختلف خاکورزی (T<sub>1</sub>: گاواهن برگردان دار T<sub>2</sub>: زیرشکن T<sub>3</sub>: زیرشکن به همراه دکمپکتور) در دو عمق بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک با بافت رس سیلتی و رده خاک Fine Mixed Thermic Typic Haploxerepts، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در مزرعه زراعی دشت‌ناز ساری در سال زراعی 90-1389 انجام گرفت. نتایج نشان داد کمترین جرم مخصوص ظاهری در تیمار زیرشکن و بیشترین مقدار آن زمان استفاده از گاواهن برگردان دار بود. اثر متقابل عمق و تیمار خاکورزی بر مقدار تخلخل خاک معنی‌دار بود. تیمار زیرشکن و دکمپکتور بیشترین میزان ظرفیت نگهداری رطوبت را به خود اختصاص داد. بیشترین اثر در میزان رطوبت ظرفیت مزرعه و نقطه‌ی پژمردگی دائم مربوط به زیرشکن و دکمپکتور بوده که تقریباً برابر با اثر شخم با گاواهن برگردان دار بود. بعلاوه قطعه‌ای که در آن از زیرشکن و دکمپکتور استفاده شد بیشترین مقدار آب قابل دسترس گیاه را داشت. در مورد پایداری خاکدانه‌ها نیز تفاوت‌ها معنی‌دار بوده به طوری که در تیمار استفاده از گاواهن برگردان بیشترین مقدار را داشت و کمترین آن مربوط به تیمار زیرشکن به همراه دکمپکتور بود. تیمارهای زیرشکن و زیرشکن به همراه دکمپکتور در مقایسه با استفاده از گاواهن برگردان‌دار موجب کاهش شاخص مخروطی شدند. همچنین، استفاده از زیرشکن سرعت نفوذ آب به درون خاک را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: دکمپکتور، زیرشکن، پایداری خاکدانه‌ها، شاخص مخروطی

1. نویسنده مسئول، آدرس: مازندران ساری کیلومتر 9 جاده دریا-دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری-گروه علوم

## مقدمه

تراکم خاک مهمترین عاملی است که سبب از بین بردن ساختار خاک شده و نتیجه آن ممانعت از نفوذ عمقی ریشه می‌باشد. حدود یازده درصد از کل زمین‌های زراعی در سطح جهان دارای مشکل تراکم می‌باشند (ون لیندن، 2000). روشهای متعددی برای کاستن و یا از بین بردن تراکم خاک پیشنهاد شده است که از بین آنها دو روش شاید مهمتر باشد. یکی پیشگیری که شامل تردد کمتر (دوماس و همکاران، 1973)، کاهش فشار تیر (رپر و همکاران، 1995)، کاهش اندازه تراکتور (کوپر و همکاران، 1969)، کشت محصولات پوششی (ریوس و همکاران، 1992) بوده و روش دیگر از بین بردن این لایه توسط زیرشکن می‌باشد (کمپل و همکاران، 1974). زیرشکن وسیله‌ای است برای شکستن لایه‌های سخت خاک که به دلیل رفت و آمد مکرر تراکتورها و ماشین‌های سنگین و نیز وجود نمک در آب آبیاری و یا سخت شدن طبیعی خاک در زیر لایه‌ی سطحی خاک بوجود آمده است (آساد و همکاران، 1379).

سابقه‌ی خاکورزی به 3000 سال قبل از میلاد بر می‌گردد ولی ظهور ادوات خاکورزی مشابه با انواع امروزی، از اوائل قرن شانزدهم میلادی آغاز شد و پس از آن سیر تکاملی داشت (شفیعی، 1390). خاکورزی به طور کلی یکی از کارهای اساسی زراعی در کشاورزی به جهت تأثیر بر خواص خاک، محیط و نهایتاً تولید محصول به حساب می‌آید (بويداس، 2007). انتخاب روش خاکورزی و نوع ادوات مورد استفاده در خاکورزی تأثیر فراوانی بر خصوصیات فیزیکی خاک به جای می‌گذارد (تریپاتی و همکاران، 2007؛ شمس آبادی و همکاران، 1385؛ اسکلینگر، 2005؛ صفادوست و همکاران، 1384؛ لیتوگیدس و همکاران، 2006). در واقع خاکورزی مناسب موجب بهبود ساختمان خاک و افزایش خلل و فرج، توزیع بهتر خاکدانه‌ها و نهایتاً اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود (عاکف، 1378). تحقیقات نشان داده است که تأثیر ادوات خاکورزی بر خواص فیزیکی خاک معنی‌دار می‌باشد (بويداس، 2007). کلیه‌ی عملیات زراعی در فشردگی سطحی و عمقی خاک موثرند. در اثر عبور چرخ‌های تراکتور در ضمن اجرای عملیات زراعی جرم مخصوص ظاهری و مقاومت خاک افزایش می‌یابد و در نتیجه حرکت آب و جریان هوا در اطراف ریشه کاهش یافته و تولید محصول کاهش می‌یابد (رقوان و همکاران، 1978؛ مک کیز و همکاران، 1979؛ مصدقی و همکاران، 1378؛ کاسل و همکاران، 1985). از طرف دیگر با افزایش تراکم خاک، گنجایش رطوبتی خاک کاهش می‌یابد

(عزیزی، 1380). نتایج برخی از تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در اثر سست کردن خاک تا عمق 40 سانتی‌متر، رطوبت خاک زمستانه در عمق 50-0 سانتی‌متر حدود 8/5 درصد افزایش و میزان جرم مخصوص ظاهری خاک آن در حدود 15 درصد کاهش یافته است (تاملو و همکاران، 1994). پس از گذشت 3 سال میزان جرم مخصوص ظاهری خاک و مقاومت برشی به حالت قبل از سست کردن خاک رسیده است. سست کردن عمیق خاک باعث افزایش آب قابل انتقال و افزایش منافذ نگهداری آب می‌شود که منتهی به افزایش رطوبت خاک در سه سال مورد نظر شده است (تاملو و همکاران، 1994). در مطالعه‌ی دیگری که توسط سیمینو و همکاران (1984) صورت پذیرفت تیمارهای مورد بررسی شامل 1. گاواهن برگرداندار استاندارد 2. دیسک 3. کولتیواتور 4. زیرشکن 5. کشت مستقیم استفاده شد. نتایج نشان داد مقدار عملکرد در استفاده از گاواهن برگرداندار و زیرشکن یکسان بوده است ولی به منظور عملکرد مناسب استفاده از زیرشکن به همراه دیسک توصیه می‌شود (سیمینو و همکاران، 1984).

عملیات زیرشکنی باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شده که پس از گذشت چندین سال مجدداً فشردگی در خاک به وجود می‌آید و جرم مخصوص خاک به حالت اولیه بر می‌گردد (اسحاق بیگی، 1384). افزایش عمق شخم باعث افزایش نفوذپذیری آب در خاک و افزایش حفظ و نگهداری رطوبت در خاک می‌گردد. در مطالعات تاملو و همکارانش (1994) که در اراضی تحقیقات دیم به مدت سه سال به منظور بررسی اثر کاربرد زیرشکن بر روی حفظ و ذخیره‌ی رطوبت انجام شد به این نتیجه رسیدند که اجرای عملیات زیرشکنی با فاصله‌ی 75 سانتی‌متر موجب افزایش رطوبت به میزان 15 درصد در مقایسه با روش بدون استفاده از زیرشکن می‌شود (تاملو و همکاران، 1994). در برخی از تحقیقات گزارش شده است انجام عملیات زیرشکنی باعث افزایش خلل و فرج و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک به میزان 3 تا 4 درصد می‌شود (اسکندری و همکاران، 1382). در این زمینه می‌توان از مطالعات ایس و همکارانش (2000) که در جهت بهبود کیفیت و عملکرد سیب‌زمینی صورت پذیرفت رابطه بین عمق شخم و خصوصیات فیزیکی خاک (جرم مخصوص ظاهری، شاخص مخروط، سرعت نفوذ آب، روان‌آب و فرسایش آبی در آبیاری به روش جوی و پشته‌ای) که در یک مزرعه تحقیقاتی با بافت خاک لومی - سیلتی انجام دادند یاد کرد. تیمارهای خاک ورزی مورد مقایسه عبارت بودند

### مواد و روش‌ها

آزمایش در مزارع دشت‌ناز در 29 کیلومتری شمال شرق ساری با عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 38' 43''$  و طول جغرافیایی  $53^{\circ} 12' 06''$  در سال زراعی 90-89 انجام پذیرفت. از نظر آب و هوایی این منطقه دارای اقلیم مرطوب بوده و بافت خاک رس سیلتی و رده خاک منطقه Fine Mixed Thermic Typic Haploxerepts بوده است. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام پذیرفت. تیمارهای آزمایش شامل  $T_1$ : گاواهن برگردان دار  $T_2$ : زیرشکن  $T_3$ : زیرشکن به همراه دکمپکتور بوده که در دو عمق 0-40 و 40-80 و سه تکرار صورت پذیرفت. پارامترهای اندازه‌گیری شده عبارتند از: جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی، تخلخل، ظرفیت نگهداشت آب، رطوبت ظرفیت مزرعه، رطوبت نقطه پژمردگی دائم، آب قابل دسترس گیاه، پایداری خاکدانه‌ها، شاخص مخروطی و نفوذپذیری خاک (نفوذ تجمعی و سرعت لحظه‌ای). مشخصات ماشین آلات مورد استفاده در جدول شماره 1 قابل مشاهده می‌باشد.

### جرم مخصوص ظاهری

برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک از استوانه مخصوص نمونه‌گیری خاک استفاده گردید (بلیک و هارتیج، 1986).

### جرم مخصوص حقیقی

جرم مخصوص حقیقی به روش آزمایشگاهی، با استفاده از پیکنومتر اندازه‌گیری می‌شود (بلیک و هارتیج، 1986).

### تخلخل کل

مقدار تخلخل کل به کمک مقادیر حاصل از جرم مخصوص حقیقی و جرم مخصوص ظاهری و طبق رابطه 1 به دست می‌آید.

$$f = 1 - pb / ps$$

رابطه 1:

f: تخلخل کل

pb: جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

ps: جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

از دیسک، شخم عمیق با زیرشکن + دیسک، شخم عمیق با زیرشکن و روش بدون خاکورزی، که اختلاف معنی‌داری بین روش‌های شخم در میزان روان‌آب و فرسایش آبی خاک وجود نداشت (ایس و همکاران، 2001). در این راستا پیرس و گای بورپی (1995) تحقیقی بر روی خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد کمی و کیفی محصول سیب زمینی انجام دادند. در این مطالعه تاثیر دو روش خاکورزی الف: شخم با زیرشکن با حفظ بقایای گیاهی و ب: روش بدون خاکورزی با کاشت درون شیارها بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد محصول سیب زمینی در منطقه غربی ایالت میشیگان آمریکا با بافت خاک شنی - لومی در بین سال‌های 1985 تا 1988 مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در خاک‌ورزی با زیرشکن (روش الف) جرم مخصوص ظاهری خاک و مقاومت ویژه خاک کاهش و میزان خلل و فرج در همه سال‌های اندازه‌گیری افزایش معنی‌دار داشته است (پیرس و گای بورپی، 1995). سوچکا و همکارانش (1997) مشاهده نمودند که استفاده از زیرشکن عمیق در مقایسه با تیمارهای عدم استفاده از زیرشکن و زیرشکن با عمق کم نفوذپذیری خاک را به مقدار بیشتری افزایش داد. عملیات زیرشکنی، خاک را در عمق‌های بیشتری می‌شکافد، باعث سهولت نفوذپذیری آب باران و نفوذ بهتر ریشه می‌گردد. باسچر و همکاران (2000) اثر زمان خاک‌ورزی عمیق را در یک خاک شنی لومی بر مقاومت خاک و عملکرد گندم و سویا بررسی نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که خاک‌ورزی عمیق در شروع هر فصل زراعی، شاخص مخروطی را کاهش و عملکرد را افزایش داد.

هدف از این تحقیق مقایسه‌ی تاثیر روش‌های مختلف خاکورزی بر میزان جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی، تخلخل، ظرفیت نگهداشت آب خاک، رطوبت قابل استفاده گیاه در حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی و آب قابل دسترس گیاه، شاخص مخروطی، پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری می‌باشد.

جدول 1- مشخصات ماشین‌آلات مورد استفاده

نوع ماشین آلات	عرض کار (cm)	روش استفاده
زیرشکن	60	سوارشونده - تیغه بدون بال
گاواهن برگرداندار	120	سوارشونده - سه خیش - عرض کار هر خیش 39 سانتی‌متر
دکمپکتور	60	سوار شونده

**درصد رطوبت اشباع**

برای اندازه‌گیری درصد رطوبت اشباع در حالت اشباع، در آزمایشگاه از روش تهیهی گل اشباع و اندازه‌گیری در صد رطوبت جرمی خاک استفاده شد (فامیلگیتی و همکاران، 1998).

**رطوبت ظرفیت مزرعه، رطوبت نقطه پژمردگی دائم و آب قابل دسترس گیاه**

برای اندازه‌گیری رطوبت ظرفیت مزرعه، رطوبت نقطه پژمردگی دائم و آب قابل دسترس گیاه، منحنی رطوبتی خاک که مبین نبض رطوبتی خاک است رسم گردید و سپس از روی آن این پارامترها تعیین گردید. در یک مزرعه با تعیین منحنی رطوبتی خاک می‌توان به وضعیت رطوبتی خاک پی برده و میزان آب قابل استفاده گیاه زراعی را در عمق مورد بررسی، تعیین نمود (بای بوردی، 1368). در این پژوهش جهت رسم منحنی رطوبتی از روش کاغذ صافی که روشی ساده، ارزان و کاربردی حتی برای نمونه‌های زیاد می‌باشد، استفاده شد (عبدالهیان نوقایی و برادران فیروز آبادی، 1380).

**پایداری خاکدانه‌ها**

برای تعیین درصد خاکدانه‌های پایدار از روش مرسوم به الک کردن در آب (wet sieving) استفاده شد. در این روش 10 گرم از خاک خشک هر تیمار روی الک‌های 0/25 میلیمتری دستگاه ریخته شد و سپس با قرار دادن دستگاه بر روی دور 30 نوسان به مدت 3 دقیقه، الک‌ها در آب فرو رفته و اجازه داده شد که با بالا و پایین رفتن الک‌ها در آب، خاکدانه‌های خاک با آب تماس پیدا کرده و پایداری خود را از دست بدهند. برخی خاکدانه‌ها از چشمه‌های الک خارج و خاکدانه‌های پایدار روی الک باقی می‌مانند. آنچه که روی الک باقی می‌ماند مجموع شن و خاکدانه‌های پایدار است. پس از آن به مواد باقی مانده در هر الک مقداری ماده‌ی پراکنده کننده افزوده شد و به شدت هم زده و از همان الک عبور داده شد. به این ترتیب مقدار شن موجود در هر الک بدست آمد. سپس با خشک کردن نمونه‌های باقی‌مانده روی هر الک پس از نوسان در آب مقطر و توزین مقدار شن موجود در هر الک درصد خاکدانه‌های پایدار (SA%) از رابطه 2 بدست آمد (NRCS Soil (USDA):

رابطه 2: (وزن شن) - (وزن کل نمونه خاک) SA= 100 %  
/ (وزن شن) - (وزن خاکدانه‌های روی الک) ×

**مقاومت خاک (شاخص مخروط)**

برای محاسبه این پارامتر از نفوذ سنج مخروطی استفاده شد که با زاویه‌ی نوک 60 درجه و قطر انتهای

مخروط 5 سانتی‌متر می‌باشد که برای این کار به طور تصادفی در 3 نقطه از هر تیمار، نفوذ سنج در دو عمق 35 و 75 سانتی‌متری مورد استفاده قرار می‌گیرد (بردفورد، 1986).

**سرعت نفوذ آب در خاک (نفوذ پذیری)**

برای اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب در خاک از وسیله‌ی ساده‌ای به نام نفوذ سنج استفاده گردید. دستگاه نفوذ سنج از دو حلقه استوانه‌ای به قطرهای 30 و 60 سانتیمتر و ارتفاع 25 سانتیمتر تشکیل شده است. البته ممکن است از اندازه‌های دیگر نیز استفاده شود. حلقه‌ها از فلز و به ضخامت 2 میلیمتر انتخاب شدند. ابتدا حلقه کوچک روی زمین قرار داده شد به طوری که 5 تا 15 سانتیمتر در خاک فرو رود. سپس حلقه‌ی بزرگ را طوری قرار داده شد که حلقه‌ی کوچک به صورت متحدالمرکز در داخل آن قرار گیرد و به همان ترتیب در زمین فرو رود. لذا بین دو حلقه 15 سانتیمتر فاصله وجود خواهد داشت. بین دو حلقه و داخل حلقه‌ی کوچک آب ریخته شد. پایین رفتن سطح آب استوانه‌ی داخلی نسبت به زمان به طور مرتب اندازه‌گیری شد.

این تغییرات را می‌توان از طریق افزودن حجم مشخصی از آب به داخل استوانه در زمان معین اندازه‌گیری کرد. اضافه کردن آب به داخل سیلندر طوری صورت می‌گیرد که عمق آب در داخل سیلندر کوچک از لبه‌ی آن بین 7 تا 12 سانتیمتر فاصله باشد. آبی که بین استوانه‌ی داخلی و خارجی ریخته شد فقط برای کنترل حرکت عمودی آب در استوانه‌ی داخلی می‌باشد تا از حرکت جانبی آن که ممکن است موجب اشتباه در آزمایش شود جلوگیری نماید و هیچ گونه اندازه‌گیری روی آن صورت نمی‌گیرد (باور، 1986).

بعد از جمع‌آوری اطلاعات و تجزیه آماری با استفاده از نرم افزار MSTATC نتایج زیر حاصل شد.

**نتایج و بحث**

**جرم مخصوص حقیقی، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل**  
در رابطه با جرم مخصوص ظاهری نتایج نشان داد که بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد وجود دارد (جدول 2) به صورتی که در بلوک با تیمار زیرشکن کمترین میزان جرم مخصوص ظاهری را مشاهده می‌کنیم و گاواهن برگردان‌دار بیشترین میزان جرم مخصوص ظاهری را به خود اختصاص داده است (جدول 3).

در استفاده همزمان زیرشکن و دکمپکتور جرم مخصوص ظاهری بیشتر از زمان کاربرد زیرشکن به تنهایی است که می‌توان علت آن را تردد بیشتر ماشین

نمودند که روش‌های مختلف خاکورزی اثر معناداری بر میزان جرم مخصوص ظاهری خاک دارد که حیدری (1390) در مطالعه خود در مورد تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک و عملکرد گندم آبی در همدان نیز به همین نتیجه دست یافت.

آلات کشاورزی که موجب فشردگی بیشتر شدن عمق اول نمونه‌برداری می‌شود بیان کرد (جدول 4). در نتیجه می‌توان گفت استفاده از زیرشکن موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌گردد. چگنی و همکاران (1393)، غلامی و همکاران (2014) و الدر و لال (2008) نیز اعلام

جدول 2- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی خواص فیزیکی خاک

منابع تغییرات	درجه- آزادی	جرم مخصوص ظاهری	جرم مخصوص حقیقی	تخلخل	درصد رطوبت اشباع
فاکتور A	2	0/038 **	0/01 ns	0/004 *	1700/471 **
فاکتور B	1	0/003 ns	0/002 ns	0/001 ns	619/637 **
AB	2	0/077 **	0/031 ns	0/009 **	159/461 **
خطا	10	0/002 ns	0/009 ns	0/001 ns	2/625 ns
CV		2/38 %	3/87 %	9/02 %	2/1 %

\*\* : تفاوت معنی دار در سطح 1% \* : تفاوت معنی دار در سطح 5% ns : عدم وجود تفاوت معنی دار فاکتور

A: اثر تیمار فاکتور B: اثر عمق

جدول 3- مقایسه میانگین برخی خواص فیزیکی خاک تحت تأثیر تیمار خاکورزی

تیمار	جرم مخصوص ظاهری (g/cm <sup>3</sup> )	جرم مخصوص حقیقی (g/cm <sup>3</sup> )	تخلخل (%)	درصد رطوبت اشباع (%)
T <sub>1</sub>	1/71 a	2/52 a	32/0 <sup>b</sup>	78/4 b
T <sub>2</sub>	1/52 c	2/46 a	36/8 a	59/7 c
T <sub>3</sub>	1/64 b	2/54 a	35/3 ab	93/3 a

اعداد هر ستون که دارای حرف‌های یکسانی هستند تفاوت آماری بر پایه‌ی آزمون دانکن در سطح 5% ندارند. T<sub>1</sub>: گاوآهن برگردان دار T<sub>2</sub>: زیرشکن T<sub>3</sub>: زیرشکن به همراه دکمپکتور

جدول 4- مقایسه میانگین برخی خواص فیزیکی خاک تحت اثر متقابل تیمار خاکورزی و عمق

تیمار	جرم مخصوص ظاهری (g/cm <sup>3</sup> )	جرم مخصوص حقیقی (g/cm <sup>3</sup> )	تخلخل (%)	درصد رطوبت اشباع (%)
T <sub>1</sub> O <sub>1</sub>	1/59 c	2/58 ab	28/9 c	76/0 c
T <sub>1</sub> O <sub>2</sub>	1/82 a	2/43 ab	35/1 b	81/8 b
T <sub>2</sub> O <sub>1</sub>	1/43 d	2/50 ab	41/6 a	57/3 c
T <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1/64 bc	2/41 a	32/0 bc	52/2 d
T <sub>3</sub> O <sub>1</sub>	1/57 c	2/47 ab	36/2 ab	81/6 b
T <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	1/71 b	2/47 ab	36/2 ab	81/6 b

اعداد هر ستون که دارای حرف‌های یکسانی هستند تفاوت آماری بر پایه‌ی آزمون دانکن در سطح 5% ندارند.

T<sub>1</sub>: گاوآهن برگردان دار T<sub>2</sub>: زیرشکن T<sub>3</sub>: زیرشکن به همراه دکمپکتور O<sub>1</sub>: عمق 0-40 سانتیمتر

O<sub>2</sub>: عمق 40-80 سانتیمتر

مخصوص ظاهری خاک به میزان 3 تا 4 درصد می‌شود (اسکندری و همکاران، 1382). دیگر محققین نیز بیان

در بعضی تحقیقات گزارش شده انجام عملیات زیر شکنی باعث افزایش خلل و فرج و کاهش جرم

داشتند که زیرشکنی خاک باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شده است (صلح جو و همکاران، 1379؛ سوان و همکاران، 1994؛ مصدقی و همکاران، 1378؛ آساد و همکاران، 1379).

در خصوص جرم مخصوص حقیقی طبق جدول شماره 2 هیچ یک از تیمارها و عمق، تأثیر معنی-داری بر روی آن نداشتند. مطابق جداول 3 و 4 مقایسات میانگین در یک محدوده قرار دارند.

نتایج حاکی از آن است که روش‌های مختلف خاکورزی بر میزان تخلخل خاک مؤثر بوده و بیشترین مقدار آن در تیمار زیرشکن ( $T_2$ ) مشاهده شد. در واقع می‌توان بیان داشت که زیرشکن موجب افزایش تخلخل می‌شود. اثر متقابل عمق و تیمارهای خاکورزی نیز تفاوت معنی‌داری در سطح 1% بر میزان تخلخل کل داشت (جدول 2) و بیشترین میزان تخلخل در تیمار زیرشکن و در عمق 0-40 سانتیمتری مشاهده شد (جدول 4). اویسیبل و کروکستن (1987) در آزمایشی اثر زیرشکنی را در یک خاک متراکم روی عملکرد گندم بررسی نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که پلات‌های زیرشکن زده شده موجب افزایش خلل و فرج خاک و خلل و فرج پر شده از هوا به ترتیب 17 و 50 درصد گردید. به علاوه دهقانیان و صلح جو (1384) نیز بیان داشتند که استفاده از زیرشکن موجب افزایش خلل و فرج و تخلخل خاک می‌گردد. محمدی و همکاران (1388)، غلامی و همکاران (2014) و الدر و لال (2008) نیز عنوان نمودند که روش‌های مختلف خاکورزی بر میزان تخلخل خاک اثر معنی‌داری داشته که با نتایج به دست آمده از این پژوهش همخوانی دارد.

#### رطوبت ظرفیت مزرعه، رطوبت نقطه‌ی پژمردگی دائم و آب قابل دسترس گیاه

همانطور که در جدول شماره 5 مشاهده می‌شود حد ظرفیت مزرعه و نقطه‌ی پژمردگی دائم دارای تفاوت معنی‌دار در سطح 1% و آب قابل دسترس گیاه در سطح 5% دارای تفاوت معنی‌داری نسبت به اثر تیمارهای اعمال-شده می‌باشند.

نتایج حاکی از آن است که روش‌های مختلف خاکورزی بر میزان تخلخل خاک مؤثر بوده و بیشترین مقدار آن در تیمار زیرشکن ( $T_2$ ) مشاهده شد. در واقع می‌توان بیان داشت که زیرشکن موجب افزایش تخلخل می‌شود. اثر متقابل عمق و تیمارهای خاکورزی نیز تفاوت معنی‌داری در سطح 1% بر میزان تخلخل کل داشت (جدول 2) و بیشترین میزان تخلخل در تیمار زیرشکن و در عمق 0-40 سانتیمتری مشاهده شد (جدول 4). اویسیبل و کروکستن (1987) در آزمایشی اثر زیرشکنی را در یک خاک متراکم روی عملکرد گندم بررسی نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که پلات‌های زیرشکن زده شده موجب افزایش خلل و فرج خاک و خلل و فرج پر شده از هوا به ترتیب 17 و 50 درصد گردید. به علاوه دهقانیان و صلح جو (1384) نیز بیان داشتند که استفاده از زیرشکن موجب افزایش خلل و فرج و تخلخل خاک می‌گردد. محمدی و همکاران (1388)، غلامی و همکاران (2014) و الدر و لال (2008) نیز عنوان نمودند که روش‌های مختلف خاکورزی بر میزان تخلخل خاک اثر معنی‌داری داشته که با نتایج به دست آمده از این پژوهش همخوانی دارد.

نتایج حاکی از آن است که روش‌های مختلف خاکورزی بر میزان تخلخل خاک مؤثر بوده و بیشترین مقدار آن در تیمار زیرشکن ( $T_2$ ) مشاهده شد. در واقع می‌توان بیان داشت که زیرشکن موجب افزایش تخلخل می‌شود. اثر متقابل عمق و تیمارهای خاکورزی نیز تفاوت معنی‌داری در سطح 1% بر میزان تخلخل کل داشت (جدول 2) و بیشترین میزان تخلخل در تیمار زیرشکن و در عمق 0-40 سانتیمتری مشاهده شد (جدول 4). اویسیبل و کروکستن (1987) در آزمایشی اثر زیرشکنی را در یک خاک متراکم روی عملکرد گندم بررسی نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که پلات‌های زیرشکن زده شده موجب افزایش خلل و فرج خاک و خلل و فرج پر شده از هوا به ترتیب 17 و 50 درصد گردید. به علاوه دهقانیان و صلح جو (1384) نیز بیان داشتند که استفاده از زیرشکن موجب افزایش خلل و فرج و تخلخل خاک می‌گردد. محمدی و همکاران (1388)، غلامی و همکاران (2014) و الدر و لال (2008) نیز عنوان نمودند که روش‌های مختلف خاکورزی بر میزان تخلخل خاک اثر معنی‌داری داشته که با نتایج به دست آمده از این پژوهش همخوانی دارد.

نتایج حاکی از آن است که روش‌های مختلف خاکورزی بر میزان تخلخل خاک مؤثر بوده و بیشترین مقدار آن در تیمار زیرشکن ( $T_2$ ) مشاهده شد. در واقع می‌توان بیان داشت که زیرشکن موجب افزایش تخلخل می‌شود. اثر متقابل عمق و تیمارهای خاکورزی نیز تفاوت معنی‌داری در سطح 1% بر میزان تخلخل کل داشت (جدول 2) و بیشترین میزان تخلخل در تیمار زیرشکن و در عمق 0-40 سانتیمتری مشاهده شد (جدول 4). اویسیبل و کروکستن (1987) در آزمایشی اثر زیرشکنی را در یک خاک متراکم روی عملکرد گندم بررسی نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که پلات‌های زیرشکن زده شده موجب افزایش خلل و فرج خاک و خلل و فرج پر شده از هوا به ترتیب 17 و 50 درصد گردید. به علاوه دهقانیان و صلح جو (1384) نیز بیان داشتند که استفاده از زیرشکن موجب افزایش خلل و فرج و تخلخل خاک می‌گردد. محمدی و همکاران (1388)، غلامی و همکاران (2014) و الدر و لال (2008) نیز عنوان نمودند که روش‌های مختلف خاکورزی بر میزان تخلخل خاک اثر معنی‌داری داشته که با نتایج به دست آمده از این پژوهش همخوانی دارد.

#### درصد رطوبت اشباع

نتایج نشان داد که روش‌های مختلف خاکورزی، عمق و اثر متقابل آنها اثر معنی‌داری در سطح 1% بر روی

جدول 5- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی خواص فیزیکی خاک

منابع تغییرات	درجه- آزادی	حد ظرفیت مزرعه	نقطه پژمردگی دائم	آب قابل دسترس گیاه	پایداری خاکدانه‌ها	شاخص مخروطی
فاکتور A	2	173/5 <sup>***</sup>	81/29 <sup>**</sup>	28/59 <sup>*</sup>	685/1 <sup>**</sup>	1/19 <sup>**</sup>
فاکتور B	1	119/4 <sup>*</sup>	11/38 <sup>ns</sup>	57/17 <sup>**</sup>	406/8 <sup>**</sup>	0/37 <sup>*</sup>
AB	2	56/70 <sup>ns</sup>	10/45 <sup>ns</sup>	24/53 <sup>*</sup>	293/9 <sup>**</sup>	1/06 <sup>**</sup>
خطا	10	17/13 <sup>ns</sup>	6/52 <sup>ns</sup>	3/83 <sup>ns</sup>	8/82 <sup>ns</sup>	0/04 <sup>ns</sup>
CV		%11/93	%12/83	%13/24	%8/93	10

\*\* تفاوت معنی‌دار در سطح 1% \* تفاوت معنی‌دار در سطح 5% ns: عدم وجود تفاوت معنی‌دار

فاکتور A: اثر تیمار فاکتور B: اثر عمق

جدول 6- مقایسه میانگین برخی خواص فیزیکی خاک

تیمار	حد ظرفیت مزرعه	نقطه پژمردگی دائم	آب قابل دسترس گیاه	پایداری خاکدانه‌ها	شاخص مخروطی
	(%)	(%)	(%)	(%)	مگا پاسکال
T <sub>1</sub>	36/3 <sup>a</sup>	22/2 <sup>a</sup>	14/1 <sup>b</sup>	40/2 <sup>a</sup>	2/42 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub>	28/6 <sup>b</sup>	15/6 <sup>b</sup>	13/0 <sup>b</sup>	38/5 <sup>a</sup>	1/87 <sup>b</sup>
T <sub>3</sub>	39/1 <sup>a</sup>	21/8 <sup>a</sup>	17/2 <sup>a</sup>	20/9 <sup>b</sup>	1/63 <sup>b</sup>

اعداد هر ستون که دارای حرف‌های یکسانی هستند تفاوت آماری بر پایه‌ی آزمون دانکن در سطح 5% ندارند.

T<sub>1</sub>: گاواهن برگردان دار T<sub>2</sub>: زیرشکن T<sub>3</sub>: زیرشکن به همراه دکمپکتور

دسترس گیاه) مربوط به استفاده از زیرشکن و دکمپکتور می‌باشد که به ترتیب 45/01 و 23/66 و 21/35 می‌باشد (جدول 7). علت کمتر بودن هر یک از رطوبت در حد ظرفیت مزرعه، نقطه‌ی پژمردگی دائم و آب قابل دسترس گیاه در تیمار T<sub>2</sub> (زیرشکن) سخت بودن لایه‌های فوقانی باشد که مانع از نفوذ آب به اعماق گردید. محققین دیگر نیز نشان داده‌اند که انجام عملیات زیر شکن در خاک‌های متراکم باعث افزایش ذخیره رطوبتی در پروفیل خاک گردیده است و همچنین ریشه نیز در عمق بیشتری نفوذ می‌کند و از حجم رطوبت بیشتری استفاده خواهد کرد (آنگر و کسپر، 1994؛ تاملو و همکاران، 1994؛ سوان، 1984). اسکندری و همت (1382)، بیان داشتند زیر شکنی موجب افزایش رطوبت خاک به میزان 5% می‌گردد.

بیشترین میزان حد ظرفیت مزرعه، نقطه‌ی پژمردگی دائم در تیمار گاواهن برگردان دار (T<sub>1</sub>) و زیرشکن به همراه دکمپکتور (T<sub>3</sub>) قابل مشاهده است (جدول 6). در بررسی تأثیر عمق می‌توان از جدول 5 دریافت که تأثیر عمق بر روی حد ظرفیت مزرعه در سطح 5% دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشد و بررسی آب قابل دسترس گیاه در سطح 1% دارای تفاوت معنی‌دار است. اثر متقابل دو فاکتور خاکورزی و عمق تنها در آب قابل دسترس گیاه در سطح 5% دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشد. با مقایسه‌ی اثر متقابل عمق و نوع خاکورزی بر رطوبت ظرفیت مزرعه، رطوبت نقطه‌ی پژمردگی دائم و آب قابل دسترس گیاه می‌توان دریافت که بیشترین میزان رطوبت (ظرفیت مزرعه، نقطه‌ی پژمردگی دائم، آب قابل

جدول 7- مقایسه میانگین اثر متقابل برخی خواص فیزیکی خاک

تیمار	حد ظرفیت مزرعه	نقطه پژمردگی دائم	آب قابل دسترس گیاه	پایداری خاکدانه‌ها	شاخص مخروطی
	(%)	(%)	(%)	(%)	مگا پاسکال
T <sub>1</sub> O <sub>1</sub>	36/3 <sup>b</sup>	22/9 <sup>a</sup>	13/5 <sup>b</sup>	43/7 <sup>a</sup>	2/22 <sup>b</sup>
T <sub>1</sub> O <sub>2</sub>	36/2 <sup>b</sup>	21/5 <sup>ab</sup>	14/7 <sup>b</sup>	42/7 <sup>ab</sup>	2/63 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub> O <sub>1</sub>	26/8 <sup>c</sup>	14/4 <sup>c</sup>	12/4 <sup>b</sup>	37/8 <sup>bc</sup>	2/48 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	30/5 <sup>bc</sup>	16/8 <sup>bc</sup>	13/6 <sup>b</sup>	33/3 <sup>c</sup>	1/26 <sup>c</sup>
T <sub>3</sub> O <sub>1</sub>	33/1 <sup>bc</sup>	19/9 <sup>ab</sup>	13/1 <sup>b</sup>	32/5 <sup>c</sup>	1/66 <sup>c</sup>
T <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	45/0 <sup>a</sup>	23/6 <sup>a</sup>	21/4 <sup>a</sup>	29/4 <sup>d</sup>	1/61 <sup>c</sup>

اعداد هر ستون که دارای حرف‌های یکسانی هستند تفاوت آماری بر پایه‌ی آزمون دانکن در سطح 5% ندارند.

T<sub>1</sub>: گاواهن برگردان دار T<sub>2</sub>: زیرشکن T<sub>3</sub>: زیرشکن به همراه دکمپکتور O<sub>1</sub>: عمق 0-40 سانتیمتر O<sub>2</sub>: عمق 40-80 سانتیمتر

#### پایداری خاکدانه

کرت زیرشکن به همراه دکمپکتور با 20/95 درصد بود (جدول 5). همچنین پایداری خاکدانه‌ها در اعماق مختلف نمونه‌برداری دارای تفاوت‌های بسیار معنی‌داری بود. پایداری خاکدانه‌ها در عمق دوم کمتر از عمق اول نمونه- برداری بود. الوارز و همکاران (2009) نیز اثر معنی‌دار خاکورزی‌های مختلف بر درصد پایداری خاکدانه‌ها ذکر نمودند. در مطالعات مشابه‌ای که توسط برخی دیگر از

در مطالعات انجام شده بر روی پایداری خاکدانه‌ها مشاهده شد بین تیمارهای مورد آزمایش تفاوت‌های بسیار معنی‌داری وجود دارد به طوری که در زمان استفاده از گاواهن برگردان‌دار بیشترین مقدار خاکدانه‌های پایدار وجود داشت و کمترین آن مربوط به

دانشمندان صورت پذیرفت بیان داشتند خاک ورزی حداقل، خطر فرسایش پذیری خاک توسط آب را در مقایسه با شخم کامل کاهش داده و سبب بهبود ساختمان و پایداری خاکدانه‌ها و حفظ رطوبت بیشتر خاک می‌گردد (کیکگارد، 2000).

#### شاخص مخروطی

باتوجه به جدول تجزیه واریانس (5) مشخص می‌شود تیمارهای خاکورزی به کار گرفته شده در این تحقیق دارای تفاوت معنی‌داری در سطح 5% بر روی شاخص مخروطی می‌باشند و با توجه به جدول (6) تیمارهای زیرشکن و زیرشکن به همراه دکمپکتور هر یک با اعدادی برابر 1/870 و 1/632 مگا پاسکال در مقایسه با هنگام استفاده از گاواهن برگردان (2/423 مگا پاسکال) موجب کاهش شاخص مخروطی گشته‌اند. همچنین با توجه به جدول تجزیه واریانس می‌توان دریافت اثرات متقابل عمق و تیمار تفاوت بسیار معنی‌داری در سطح 1% ایجاد می‌کنند که کمترین مقدار شاخص مخروطی مربوط به زمان استفاده از زیرشکن و در عمق دوم نمونه برداری می‌باشد که برابر است با 1/260 مگا پاسکال و بیشترین مقدار آن مربوط به تیمار گاواهن برگردان در عمق دوم نمونه برداری می‌باشد که برابر است با 2/630 مگا پاسکال. در واقع عملیات خاکورزی با ایجاد تغییر در ساختمان خاک سبب کاهش شاخص مخروطی می‌شود و تفاوت در میزان شکستن لایه‌های خاک و سست نمودن آن می‌تواند دلیل تفاوت میزان کاهش شاخص مخروطی برای خاکورزی‌های مختلف باشد (صفری و همکاران، 1392) که این نتایج با مشاهدات نیدال و حمده (2003) و برزگر و همکاران (2004) نیز همخوانی دارد.

سوجکا و همکارانش (1997) دریافتند استفاده از زیرشکن تا حد زیادی موجب کاهش مقاومت خاک می‌گردد. مطالعات نشان داد 60% از شاخص مخروطی در عمق 0/5 متر در تیمار زیرشکن زده شده کمتر از 1/5 مگا پاسکال می‌باشد در حالی که در تیمار شاهد، تنها 30% از شاخص مخروطی کمتر از 1/5 مگا پاسکال است. برخی دیگر از محققان با بررسی تأثیر شخم بر عملکرد گیاه پنبه در منطقه ساوه استان مرکزی صورت پذیرفت به این نتیجه رسیدند که شاخص مخروطی خاک

تا عمق 60 سانتی‌متر به واسطه استفاده از زیرشکن تا 16 درصد کاهش می‌یابد (نجات و همکاران، 1389). الوارز و همکاران (2009) اعلام داشتند که شاخص مخروطی خاک به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاکورزی قرار گرفته است. در مطالعاتی که بر روی مقایسه روش‌های مختلف خاکورزی انجام شد؛ در مقایسه دو روش خاکورزی بدون شخم و استفاده از زیرشکن نتایج نشان داد استفاده از زیرشکن در سطح 5% بر روی خصوصیات فیزیکی مؤثر است. استحکام خاک با اندازه‌گیری شاخص مخروط تعیین شد به صورتی که در حالت بدون هرگونه شخم شاخص مخروط برابر 3 مگا پاسکال بود و در زمان استفاده از زیرشکن به کمتر از 1 مگا پاسکال رسید (لوپز- فاندو و همکاران، 2007). رسولی شریانی و عباسپور گیلانده (1387) نیز ذکر کردند که خاکورزی سبب کاهش شاخص مخروطی شده و نفوذپذیری را افزایش می‌دهد که محمدی و همکاران (1388) نیز به همین نتیجه دست یافتند.

#### نفوذپذیری خاک (نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ لحظه‌ای)

در پژوهش انجام شده بر روی سرعت نفوذ آب درون خاک مشخص شد استفاده از گاواهن اگرچه در زمان‌های اولیه موجب افزایش سرعت نفوذ آب درون خاک می‌گردند اما با گذشت زمان نفوذ به شدت کاهش می‌یابد. بیشترین میزان نفوذ تجمعی و بیشترین میزان سرعت نفوذ لحظه‌ای آب درون خاک مربوط به تیمار زیرشکن به همراه دکمپکتور می‌باشد و کمترین آن به کرتی که در آن از گاواهن برگردان استفاده شده است اختصاص دارد؛ الوارز و همکاران (2009) نیز مشاهده نمودند که خاکورزی و تیمارهای مختلف آن بر سرعت نفوذ آب در خاک مؤثر است. چگنی و همکاران (1393) ذکر نمودند که خاکورزی سبب افزایش سرعت نفوذ آب در خاک می‌گردد که با نتایج شریانی و عباسپور گیلانده (1387) نیز مطابقت دارد. در مطالعاتی که توسط حیدری و همکارانش (1390) درباره‌ی اثر زیرشکنی بین ردیف بر عملکرد کمی و کیفی سیب زمینی و کارایی مصرف آب صورت پذیرفت دریافتند استفاده از زیرشکن موجب افزایش سرعت نفوذ آب در خاک می‌گردد.



جدول 8- نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ لحظه‌ای

تجمعی Z(Cm)			I Inst(Cm/hour) لحظه‌ای			زمان
T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	Min.
1/8	1/4	2/4	72/15	62/72	76/41	1
2/82	2/7	3/1	57/11	50/67	57/61	2
5/5	4/4	5/3	41/93	38/21	39/66	5
8/6	8	9/3	33/19	30/86	29/90	10
11/5	10/4	10/5	26/27	24/93	22/54	20
15/8	14/1	13/4	22/91	22/00	19/11	30
32/2	29/6	25/9	18/14	17/77	14/41	60
39/4	38/4	36/1	15/82	15/69	12/21	90
47/7	46/6	42/5	14/36	14/36	10/86	120
57/5	55/3	49/7	11/67	11/60	8/19	240

T<sub>1</sub>: گاواهن برگردان دار T<sub>2</sub>: زیرشکن T<sub>3</sub>: زیرشکن به همراه دکمپکتور

### نتیجه‌گیری کلی

بر طبق بررسی‌های انجام شده می‌توان بیان داشت استفاده از زیرشکن به همراه دکمپکتور موجب بهبود خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود به صورتی که جرم مخصوص ظاهری را کاهش داده، تخلخل را افزایش می‌دهد. درصد رطوبت اشباع خاک را افزایش داده و نیز با افزایش حدود ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و آب قابل دسترس گیاه، توان مقاومتی گیاه را در برابر خشکی افزایش می‌دهد همچنین با افزایش سرعت نفوذ لحظه‌ای و نفوذ تجمعی آب در خاک سبب کاهش رواناب و در نتیجه فرسایش و هدر رفت خاک می‌شود. با توجه به موارد ذکر شده بهتر است خاکورزی (استفاده از زیرشکن به همراه دکمپکتور) در اراضی زراعی صورت پذیرد.

در مطالعات دیگری که توسط حیدری و همکاران (1390) به منظور تعیین تأثیر روش‌های خاکورزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و عملکرد گندم آبی صورت پذیرفت دریافتند که زیرشکنی به عمق 50 سانتیمتر بیشترین تأثیر را در افزایش سرعت نفوذ آب در خاک را داشت؛ همچنین مشاهده شد که روش‌های خاکورزی عمیق (زیرشکن، نیمه زیرشکن، گاواهن مرکب) موجب افزایش 13 الی 20 درصدی سرعت نفوذ آب در خاک در مقایسه با گاواهن برگردان بود. افزایش عمق شخم موجب افزایش نفوذپذیری آب در خاک می‌شود (ارشدی و همکاران 1387). سوچکا و همکارانش (1997) دریافتند تیمارهای استفاده از زیرشکن عمیق در مقایسه با تیمارهای عدم استفاده از زیرشکن و زیرشکن با عمق کم تأثیر بیشتری بر روی افزایش نفوذپذیری خاک دارند.

### فهرست منابع:

1. ارشدی، آ و افشاری، ف. 1387. تأثیر ماشین مرکب - چیزل بر عملکرد محصولات کشاورزی. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه فردوسی مشهد، 8 صفحه.
2. آساد، م. ت.، خردنام، م.، کامکار حقیقی، ع. ا.، کریمیان، ن. ع. و فارسی‌نژاد، ک. 1379. برهمکنش چغندر قند به سطوح نیتروژن و آبیاری و زمان کاربرد نیتروژن. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره 3، صص 227-443.
3. اسحاق بیگی، ع.، طباطبایی فر، ا.، کیهانی، ع. و رئوفت، م. ح. 1384. اثر عمق و زاویه حمله بر مقاومت کششی زیرشکن تیغه مورب. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد 36، شماره 4، صص 1045-1052.
4. اسکندری، ا. و همت، ع. 1382. اثر زیرشکنی بر حفظ و ذخیره رطوبت خاک و عملکرد محصول گندم دیم. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد 4، شماره 18، صص 1-14.
5. بای بوردی، م. 1368. فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ چهارم، 587 صفحه.

6. چگنی، م. انصاری دوست، ش. اسکندری، ح. 1393. تأثیر نوع شخم و مدیریت بقایای گیاهی بر برخی خواص فیزیکی خاک در راستای نیل به کشاورزی پایدار. مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار. 24(2): 31-40.
7. حیدری، ا.، 1390. تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و عملکرد گندم آبی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال پانزدهم. شماره 57.
8. دهقانان، ا. و صلح‌جو، ع. ا. 1384. بررسی تأثیر عملیات زیرشکن روی خصوصیات فیزیکی خاک و رطوبت قابل استفاده گیاه چغندر قند. مجموعه مقالات آبیاری مکانیزه سطحی، صص 271-282.
9. رسولی شریبانی، و. و عباسپور گیلانده، ی. 1387. بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر روی برخی خصوصیات فیزیکی خاک. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشگاه فردوسی مشهد.
10. شمس آبادی، ح. ع.، رافعی، ش. 1385. بررسی اثر عملیات خاک‌ورزی اولیه و تراکم مختلف بذر روی عملکرد محصول گندم دیم در منطقه گنبد کاووس. فصلنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی. 13: 95-102.
11. شفیع، س. ا. 1390. ماشین‌های خاک‌ورزی. مرکز نشر دانشگاهی، تهران. 224 صص
12. صفری، ا.، آسودار، م. ا.، قاسمی‌نژاد، م.، ابدالی مشهدی، ع. ر. 1392. تأثیر حفظ بقایای روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی و کاشت بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد گندم. مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار. 23(2): 49-59.
13. صلح‌جو، ع. ا. و لغوی، م. 1379. رطوبت مناسب خاک جهت اندازه‌گیری شاخص مخروطی توسط دستگاه نفوذسنج مخروطی. مجله تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی، شماره 17، صص 43-50.
14. صفادوست، ا.، محبوبی، ا.، مصدقی، م.؛ نوروزی، ا. 1384. تأثیر کوتاه مدت سیستم‌های خاک‌ورزی و مواد آلی بر تراکم طول ریشه ذرت و ویژگی‌های فیزیکی. نهمین کنگره علوم خاک. 6-9 شهریور. مرکز تحقیقات و حفاظت خاک و آبخیز داری کشور.
15. عزیزی آق قلعه، ب. 1380. اثر اختلاط سه نوع ماده آلی با خاک بر حداکثر چگالی ویژه ظاهری خشک و گنجایش رطوبت بحرانی خاک در طول فشرده‌گی. مجله آب و خاک. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 5(3): 49-64.
16. عاکف، م. و باقری، ا. 1378. مدیریت خاک و نقش ماشین‌های کشاورزی در خصوصیات فیزیکی خاک. انتشارات دانشگاه گیلان، 303 صفحه.
17. عبدالهیان نوقایی، م. و برادران فیروز آبادی، م. 1380. معرفی روش ساده و سریع تعیین منحنی رطوبتی خاک. چغندر قند. 17(2): 66-69.
18. محمدی، خ.، نبی‌اللهی، ک. آقا علیخانی، م. خرمالی، ف. 1388. بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم. پژوهش‌های تولید گیاهی. 16(4): 77-91.
19. مصدقی، م. ر.، حاج عباسی، م. ع.، همت، ع. و افیونی، م. 1378. اثر رطوبت خاک و کود دامی بر تراکم پذیری خاک مزرعه لورک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی شماره 4، صص 27-39.
20. نجات، م. ع.، ایمانی، ا.، خسروی، ر. 1389. مطالعه تأثیر شخم عمیق بر روی عملکرد گیاه پنبه در منطقه ساوه استان مرکزی. همایش ملی دستاوردهای نوین در تولید گیاهان با منشأ روغنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد
21. Abdollahian-noghabi, M. 1999. Ecophysiology of sugar beet cultivars and weed species subjected to water deficient stress. PhD Thesis, The university of Reading, pp:227.
22. Alvarez, R. and H.S. Steinbach. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil and Tillage Research. 104(1):1-15.

23. Ase, J.K., E. Sojka Robert and L. Bjorneberg David. 2001. Zone-subsoiling relationships to bulk density, cone index, infiltration, runoff and erosion on a furrow irrigated soil. *Transactions of the ASAE*. 44(3): 577-583
24. Barzegar, A.R, M.A. Asoodar, A.R. Eftekhar and S.J. Herbert. 2004. Tillage effect on soil physical properties and performance of irrigated wheat and clover in semi-arid region. *Agronomy Journal*. 3(4):237-242.
25. Bouwer, H. 1986. Intake rate. Cylinder infiltration. In: Klute, A. (Eds), *Methods of soil analysis*. Part 1. America Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin USA. 825-843.
26. Busscher, W. J., J. R. Frederick and P. J. Baure. 2000. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield. *Soil Science Society of America Journal*. 64: 999-1003.
27. Bradford, J. M. 1986. Penetrability. In: *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and mineralogical methods. *Agronomy Monograph # 9*(2<sup>nd</sup> ed.), 468-472.
28. Blake, G. R and K. H. Hartage. 1986. Particle density, In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, Part 1, # 9(2<sup>nd</sup> ed.), *Agronomy Monograph*. American Society of Agronomy, Madison, 377-381.
29. Boydas, M. G and N. Turgut. 2007. Effect of tillage implements and operating speeds on soil physical properties and wheat emergence. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31: 399-412.
30. Cassel, D. K., and E. C. Edwards. 1985. Effects of subsoiling and irrigation on corn production. *Soil Science Society of America Journal*, 49(4): 996-1001.
31. Campbell, R. B., D. C. Reicosky, and C.W. Doty. 1974. Physical properties and tillage of Paleudults in the southeastern Coastal Plains. *Journal of Soil and Water Conservation*, 29:220-224.
32. Cooper, A.W., A.C. Trowse, and W.T. Dumas. 1969. Controlled traffic in row crop production. *Proceedings of the 7th International Congress of C.I.G.R.* Section III, Theme I, 1-6. Baden-Baden, Germany, CIGR.
33. Dumas, W. T., A.C. Trowse, L.A. Smith, F.A. Kummer, and W.R. Gill. 1973. Development and evaluation of tillage and other cultural practices in a controlled traffic system for cotton in the Southern Coastal Plains. *Transactions of the ASABE*. 16 (5): 0872-0875.
34. Elder, J. W. and R. Lal. 2008. Tillage effects on physical properties of agricultural organic soils of north central Ohio. *Soil and Tillage Research*. 98(2):208-210.
35. Famiglietti, J. S., J. W. Rudnicki and M. Rodell. 1998. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas. *Journal of Hydrology*, 210: 259-281.
36. Gholami, A., H. R. Asgari, and E. Zeinali. 2014. Effect of different tillage systems on soil physical properties and yield of wheat (Case study: Agricultural lands of Hakim Abad village, Chenaran township Khorasan Razavi province) *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 2(5):1539-1552
37. [http://soil.usda.gov/s9i/fils/chapter 8](http://soil.usda.gov/s9i/fils/chapter%208): 18-19
38. Kirkegaard, J. 2000. Canola provides an unexpected boost. *Farming Ahead*. Kondinin Group. 97: 2000-2047.
39. Lithourgidis, A.S., K.V. Dhima, C.A. Damalas, I.B. Vasilakoglou, and I.G. Eleftherohorinos. 2006. Tillage effects on wheat emergence and yield at varying seeding rates and on labor and fuel consumption. *Crop Science*, 46: 1187-1192.
40. Lo'pez-Fando. C., J. Dorado., M. T. Pardo. 2007. Effects of zone-tillage in rotation with no-tillage on soil properties and crop yields in a semi-arid soil from central Spain. *Soil & Tillage Research*. 95: 266-276.

41. Mckyes, E., S. Neco, E. Douglas, F. Taylor and G.S.U. Raghavan. 1979. The effect of machinery traffic and tillage on the physical properties of clay and on yield of silage corn. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 24: 143-148.
42. Nidal, H., A. Hamdeh, 2003. Soil compaction and root distribution for okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil and Tillage Research*. 74: 25-35.
43. Oussible, M. and R. K. Crookston, 1987. Effect of subsoiling a compacted clay loam soil on growth, yield, and yield components of wheat. *Agronomy Journal*, 79: 882-886.
44. Pierce, f. J. and C. Gaye Burpee. 1995. Zone tillage effects on soil properties and yield and quality of potatos (*Solanum tuberosum* l.), *Soil and Tillage Research*, 35: 135-146.
45. Raghavan, G.S.V., E. Mckyes, G. Gendrom, B. Borghum, and H. H. Lee. 1978. Effect of the soil compaction on the development and yield of corn (maize). *Canadian Journal of Plant Science*, 58: 435-443.
46. Raper, R.L., A.C. Bailey, E.C. Burt, T.R. Way and P. Liberati. 1995. The effects of reduced inflation pressure on soil-tire interface stresses and soil strength. *Journal of Terramechanics*, 32(1):43-51.
47. Reeves, D.W., H.H. Rogers, J.A. Droppers, S.A. Prior, and J.B. Powell. 1992. Wheel-traffic effects on corn as influenced by tillage system. *Soil and Tillage Research*, 23:177-192.
48. Schillinger, W.F. 2005. Tillage method and sowing rate relations for dryland spring wheat, barley, and oat. *Crop Science*, 45: 2636-2643.
49. Simeonov, B., P. Shchererh, and I. Kassimor, 1984. Economic evaluation of reduced soil cultivation in crop rotation. *Rastanier dni Nauki*, 21: (2) 3-9.
50. Soane, B.D. and C. VanQuwerkerk, 1994. *Soil compaction in crop production*. Elsevier, 662 pp.
51. Sojka, R. E., Horne, D.J., Ross, C.W. and C.J., Baker. 1997. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield. *Soil and Tillage Research*. 40: 125-144.
52. Tripathi, R.P., P. Sharma, and S. Singh. 2007. Influence of tillage and crop residue on soil physical properties and yields of rice and wheat under shallow water table conditions. *Soil and Tillage Research*, 92: 221-227.
53. Twomlow, S.J., R.J. Parkinson, and I. Reid. 1994. Temporal changes in soil physical conditions after deep loosening of a silty loam in SW England. *Soil and Tillage Research*, 31: 37-47.
54. Unger, P.W and T.C. Kaspar. 1994. Soil compaction and root growth: a review. *Agronomy Journal*, 86: 759-766.
55. Van Lynden, G.W.J. 2000. The assessment of the status of human-induced degradation. *FAO Report*. No. 37.