Research Article

Agricultural Engineering,45(2) (2022) 137-152
DOI: 10.22055/AGEN.2022.41266.1636

ISSN (E): 2588-526X

ISSN (P): 2588-5944

The effect of different tillage instruments on some soil physical characteristics and soil translocation

M. Naderi Khorasgani[1*], Gh. Hajihassani[2], J. Mohammdi[3] and A. Karimi[4]

1. Associate Professor Soil, Science and Engineering Dept., Agirculture Faculty, Shahrekord University, Rahbari Bld., Chahamahal va Bakhtiari Province, Iran
2. MSc., Post Graduate Soil, Science and Engineering Dep., Agirculture Faculty, Shahrekord University, Rahbari Bld., Chahamahal va Bakhtiari Province, Iran
3. Professor Soil Science and Engineering Dept., Agirculture Faculty, Shahrekord University, Rahbari Bld., Chahamahal va Bakhtiari Province, Iran
4. Assistant Professor, Soil Science and Engineering Dept., Agirculture Faculty, Shahrekord University, Rahbari Bld., Chahamahal va Bakhtiari Province, Iran

Received: 4 July 2022 Accepted: 15 September 2022

Abstract

Introduction: Tillage is defined as disturbing the soil and changing soil physical condition of seedbed and root zone and making it suitable for cultivation. Soil physical characteristics like soil moisture and temperature conduction, bulk density, porosity and particle size are changed in the following of soil tillage. Tillage also increases water infiltration rate and plays an important role in soil moisture protection and decreasing flood hazards in arid and semi-arid regions. molboard plough is currently implemented for tillage in different parts of Iran including Chaharmahal va Bakhtiari province. There are evidences which show moldboard plough triggers physical soil characteristics deterioration and soil tillage erosion. Tillage translocation coefficient, as a component of tillage erosion, is defined as the amount of soil transition for 1 m width of tillage instrument. Comparing the impacts of available tillage instruments with moldboard plough on physical soil characteristics, soil transition and their efficiency may encourage field managers to substitute other instruments with moldboard plough. This research aimed to: 1) study the impacts of the currently available tillage instruments (moldboard, disk and chisel plough) on some prominent physical soil characteristics and 2) compare soil translocation coefficients of the mentioned tillage instruments.

Materials and Methods: This research was executed in Research-Training field of Shahrekord university, Shahrekord county, Chaharmahal va Bakhtiari Province, Iran. A split plot experimental design with complete randomize block was considered with 3 major treatments of tillage instruments (molboard, disk and Cchisel plough), minor treatments of slope (0, 3, 6 and 8%) and tillage speeds (2, 5, and 8 km h^{-1}) and 3 replications. The conventional tillage depth of 25 cm was adjusted for all three tillage instruments. Standard protocols were applied and soil electrical conductivity (EC), pH, calcium carbonate equivalent (CCE), organic matter (OM) and soil texture components were measured before tillage application. Soil field capacity (FC), mean weight diameter (MWD) of aggregates, geometric mean diameter (GMD) of aggregates, aeration porosity (Fa), bulk density (ρ_b) and water stable aggregates (WSA) were measured using standard protocols after tillage implementations. Colored gypsum cylinders were used as indicators for

© 2022 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

detecting soil translocation. The transition distance of the colored gypsum cylinders of each layer of tillage depth (0-9, 9-18 and 18-25 cm) was measured using tape meter or ruler and mean transition for each layer were calculated. In the next step the depth weight soil translocation was calculated for each tillage instrument.

Results and Discussions: Chemical analysis of soil samples showed that soils were non-saline, soil OM content was less than 1% and CCE of soil samples was relatively high. Physical soil analysis of soil samples before tillage implementation indicated that there was not any restriction for plant root development and aeration as ρ_b was relatively low and aeration porosity was 10% <, respectively. Analysis of variance (ANOVA) indicated that the effects of tillage type on MWD and ρ_b were significant ($P < 0.05$). Comparing the means of MWD and ρ_b induced by tillage instruments (Duncan method) revealed significantly higher values of MWD and lower values of ρ_b for soils which were treated by MB plough, the results were corresponded to the finding of other researchers. There were not significant differences between MWD and ρ_b of soils which were treated by disk and chisel plough. The results also showed that tillage instruments did not impact on physical characteristics like FC, WSA, GMD and FA. Non-significant impact of MB plough on soil moisture condition also was reported by other researchers in the northwest of Iran. The ANOVA was calculated for soil translocation and showed that the effects of tillage instruments were significant ($P < 0.05$) for all three layers of soil depth. Mean soil translocation of surficial layer of tillage depth (0-9 cm) was significantly higher than of other layers of tillage depth. Despite other researchers' findings, our research indicated that the slope levels were not significant for soil translocation. This research also revealed that tillage speed significantly ($P < 0.05$) impacted on soil translocation which was corresponded to findings of other researches in different parts of the world. Interaction of slope-speed and tillage type-speed were significant ($P < 0.05$) which could be due to accelerated impacts of speed on soil translocation in steep areas. Amount of coefficient of translocation for MB plough was 141 kg m^{-1} per application. This value was about one third of soil translocation which was reported by others from Belgium (545 kg m^{-1} y^{-1}) or Denmark (456 kg m^{-1} y^{-1}) and very closed to the finding of Spanish researchers (164 kg m^{-1} per application). The coefficient of translocation for disk and chisel plough were 114 and 93 kg m^{-1} per application, respectively. According to researchers from Portugal, the coefficients of translocation for disk and chisel plough were in ranges of 0-333 kg m^{-1} and 18-770 kg m^{-1} per application, respectively. The magnitude of soil translocation coefficients for tillage instruments were in order of MB plough > disk plough > chisel plough.

Keywords: Aggregate mean weight diameter, bulk density, soil coefficient of translocation

مقاله پژوهشی

تاثیر ادوات مختلف خاک‌ورزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و جابجایی خاک

مهدی نادری خوراسگانی[1*]، قاسم حاج حسنی[2]، جهانگرد محمدی و احمد کریمی[3]

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، ایران
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، ایران
۳- استاد گروه علوم و مهندسی خاک ، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، ایران
۴- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۳

پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴

کلمات کلیدی:
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، چگالی ظاهری خاک، ضریب انتقال خاک.

* عهده دار مکاتبات
Email: Khnaderi@yahoo.com

چکیده

این تحقیق در راستای انتخاب مناسب‌ترین ادوات خاک‌ورزی از نظر حفظ ویژگی‌های فیزیکی و انتقال خاک انجام شد. در یک طرح آزمایشی کرت‌های نواری خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار اصلی خاکورزی (۱) گاوآهن برگردان‌دار، (۲) گاوآهن بشقابی و (۳) گاوآهن قلمی و دو تیمار فرعی شیب زمین در چهار سطح (شامل ۰، ۳، ٦ و ۸ درصد) و تیمار سرعت در سه سطح (شامل ۲، ۵ و ۸ کیلومتر در ساعت) اجرا شد. ضریب انتقال ذرات خاک و برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل چگالی ظاهری خاک، میانگین وزنی قطر ذرات، درصد پایداری‌تر خاکدانه‌ها، تخلخل تهویه‌ای، میانگین هندسی قطر ذرات خاک و ظرفیت زراعی بعد از خاک‌ورزی اندازه‌گیری شدند. نتایج تحلیل داده‌ها نشان دادند که نوع گاوآهن تأثیر معنی‌داری بر میانگین وزنی قطر ذرات و چگالی ظاهری خاک دارد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها پس از تیمار با گاوآهن برگردان‌دار بطور معنی‌داری بیش از میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها پس از تیمارهای خاک با گاوآهن‌های قلمی و بشقابی بود. همچنین چگالی ظاهری خاک‌ها پس از استفاده از گاوآهن برگردان‌دار کمتر از چگالی ظاهری خاک‌ها در دو تیمار دیگر بود. اندازه‌گیری ضریب انتقال خاک‌ورزی نشان داد که بیشترین ضریب انتقال خاک مربوط به گاوآهن برگرداندار بود. همچنین بالاترین ضریب انتقال خاک در کلیه ادوات خاک‌ورزی مربوط به لایه سطحی عمق خاک‌ورزی بود و در این عمق هم ضریب انتقال خاک برای گاوآهن برگرداندار بیش از گاوآهن‌های بشقابی و قلمی بود.

مقدمه

خاک‌ورزی در کشاورزی به مفهوم به هم‌زدن و تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک با اهداف تغییر شرایط خاک در بستر بذر و یا ریشه گیاه برای کشت و کار بهتر گیاهان می‌باشد (۶). خاک‌ورزی در دراز مدت موجب تغییر وسیعی در ویژگی‌های فیزیکی خاک نظیر انتقال دما و رطوبت، جرم مخصوص ظاهری، ساختمان، مواد آلی و ویژگی‌های گیاهی مانند تراکم ریشه‌ها می‌شود (۶).

دیویتا و همکاران[1] (۹) از مطالعات خود در خاک‌های مناطق نیمه خشک ایتالیا گزارش کردند که سیستم‌های خاک‌ورزی بر خلل و فرج و میزان بقایای محصول قبلی در سطح خاک مؤثرند و نقش مهمی در حفظ رطوبت و تولید در مناطق خشک و نیمه خشک دارند. سینگ و هیل[2] (۲۵) در آزمایش خود نشان دادند که حداقل‌خاک‌ورزی[3] منجر به افزایش میزان رطوبت خاک می‌شود. تحقیقات حاج عباسی و همت (۱۲) نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر تراکم خاک دارند. نتایج حیدری (۱۶) نشان داد که روش‌های مختلف خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر سرعت نفوذ آب به خاک و جرم ویژه ظاهری خاک داشت. چگینی و همکاران[4] (۵) نیز گزارش کردند که در سیستم‌های خاکورزی که از گاوآهن برگردان‌دار استفاده شده بود، وزن مخصوص ظاهری به طور معنی‌داری کمتر از زمانی بود که از سایر ادوات استفاده شده بود.

از زمان ورود تراکتور به ایران استفاده از گاوآهن‌های سنتی و مرسوم ایرانی روز به روز محدودتر شد و عمدتاً استفاده از گاوآهن برگرداندار برای خاکورزی رواج یافت. بسیاری از محققین گاوآهن برگرداندار رایج را عامل مهم تاثیرگذار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و فرسایش ناشی از شخم در مناطق شیب‌دار گزارش کرده‌اند. باتوجه به اینکه استان چهارمحال و بختیاری در زاگرس مرکزی قرار دارد و زمین‌های کشاورزی در دشت‌های رودخانه‌ای و دامنه‌ای قرار دارند و تقریباً در اکثر نقاط استان خاک‌ورزی به کمک گاوآهن برگرداندار انجام می‌گیرد، این تحقیق با اهداف: ۱) بررسی و مقایسه تاثیر خاک‌ورزی با گاوآهن‌های مرسوم بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک و ۲) بررسی جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک‌ورزی با ادوات مرسوم، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد، انجام شد.

مواد و روش‌ها

محل اجرا و طرح آماری

این تحقیق در مزرعه آموزشی تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در شهرستان شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. شهرکرد، مرکز استان چهارمحال و بختیاری دارای اقلیم نیمه مرطوب معتدل با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های بسیار سرد است. با توجه به نقشه خاک و توپوگرافی مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشگاه شهرکرد تلاش شد مکانی انتخاب شود که از نظر کاربری و بافت خاک تقریباً یکنواخت باشد و شیب‌های مختلف را داشته باشیم تا خطاهای ناشی از عدم یکنواختی بافت به حداقل برسد و در مرحله دوم به دلیل تاثیر شیب بر جابجایی خاک، شیب‌های نسبتاً یکنواختی را در محل داشته باشیم تا بتوانیم اثر شیب بر جابجایی خاک را بررسی نماییم. طرح آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تیمار اصلی خاک‌ورزی شامل گاوآهن‌های برگردان‌دار[5]، بشقابی[6] و قلمی[7] و تیمارهای فرعی شیب در چهار سطح شامل ۰، ۳،۶ و ۸ درصد و سرعت خاکورزی در سه سطح ۲، ۵ و ۸ کیلومتر بر ساعت و در سه تکرار اجرا شد.

1 -De Vita *et al.*
2- Singh and Haile
3- Minimum tillage
4- Chegini *et al.*
5- Moldboard plough
6- Disk
7- Chisel

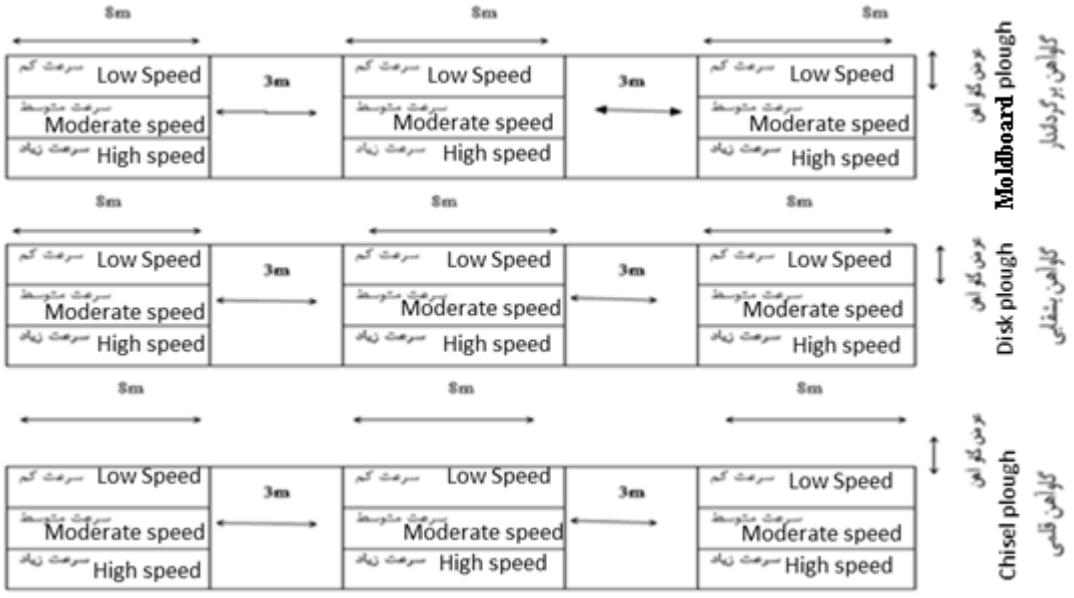
کرت‌های آزمایش به ابعاد ۰/۹ × ۸ متر تهیه شدند. شکل ۱ نمای کلی طرح را در یک سطح شیب نشان می‌دهد.

نشان‌گذاری به منظور بررسی جابجایی خاک ناشی از خاک‌ورزی

برای بررسی مقدار جابجایی یا فرسایش خاک ناشی از شخم، عمق شخم برای هر سه نوع گاوآهن ۲۵ سانتی‌متر (مطابق با عمق مرسوم شخم در منطقه) در نظر گرفته شد. برای برآورد جابه‌جایی خاک توسط ادوات شخم از قطعات گچ رنگی همراه با خاک به عنوان مواد نشاندار استفاده شد.

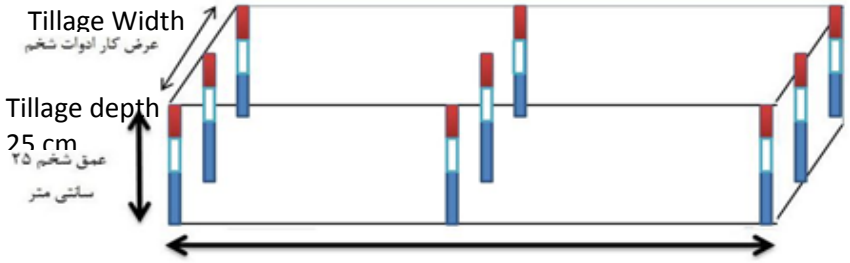
استوانه‌های رنگی گچ به ارتفاع ۳ و قطر ۲ سانتی‌متر و وزن ۱۲ گرم تهیه شدند. چگالی استوانه‌های گچی ۱/۱۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب تنظیم شد که بسیار نزدیک به چگالی ظاهری نمونه‌های خاک بود. طول کرتها به سه قسمت تقسیم شدند و در بخش میانی هر قسمت به کمک مته یک ردیف عرضی در نظر گرفته شد و در هر ردیف عرضی سه حفره در زمین کنده شدند.

عمق حفره‌ها ۲۵ سانتی‌متر (معادل عمق شخم) بود. استوانه‌های گچی در سه رنگ آبی، سفید و قرمز در سوراخ‌ها قرار گرفتند بطوری که هر رنگی تقریباً به یک سوم عمق اختصاص یافت. پس از خاک‌ورزی مقدار جابجایی استوانه‌ها از محل نصب اندازه‌گیری شد و به عنوان مقدار جابجایی یا فرسایش ناشی از خاک‌ورزی ارائه شد (شکل۲).



شکل (۱) نمای کلی طرح آزمایشی برای هر یک از سطوح شیب، با سه تیمار اصلی گاوآهن (برگردان‌دار، بشقابی و قلمی)، سه تیمار فرعی سرعت و سه تکرار.

Figure (1) Schematic view of the experimental design for a slope level with three major treatments (Moldboard, Disk and Chisel plough), three minor treatments of speed and three replications.



شکل (۲) بخشی از مقطع طولی یک کرت و محل قرار گرفتن استوانه‌های گچی نشاندار.
Figure (2) A longitudinal part of a plot and positions of gypsum column indicators

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی خاک

به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی خاک از هر کرت دو نمونه خاک از عمق ۱۵-۰ و ۲۵-۱۵ سانتیمتری برداشته شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه هواخشک شده و به کمک چکش چوبی خرد شدند. خاک خرد شده از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و برای تجزیه فیزیکی بر اساس روش‌های استاندارد عمل شد. تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی برای هر بخش از عمق شخم جداگانه انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل بافت، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها[1]، پایداری خاکدانه‌ها[2]، جرم مخصوص ظاهری[3]، تخلخل تهویه‌ای[4]، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها[5] و رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی[6] بر اساس روش‌های استاندارد تعیین شدند.

بافت خاک به روش توصیه شده توسط گی و بادر[7] (۱۰)، هدایت الکتریکی نمونه‌ها با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع و pH نمونه‌های خاک در گل اشباع اندازه‌گیری شدند. کربنات کلسیم معادل نمونه‌ها به روش هضم کربنات‌ها با اسید و حنثی‌سازی اسید باقیمانده انجام شد (۲۲).

برای اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، ابتدا نمونه‌های خاک از الک ۶ میلی‌متری عبور داده شدند و سپس مقدار ۱۰۰ گرم خاک الک شده بر روی الک ۴ میلی‌متری قرار گرفت و سری الک‌ها به ترتیب از بالا به پایین ۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۰۵ میلی‌متر مرتب شدند. قبل از قرار گرفتن و بالا و پایین شدن نمونه‌های خاک در آب با اسپری، روی نمونه‌ها خیس شد. ضخامت آب روی خاکدانه‌ها ۲ سانتی‌متر بود. الک کردن نمونه‌ها با سرعت ۳۵ ضربه در دقیقه به مدت ۲ دقیقه انجام شد. سپس الک‌ها را به آرامی از آب خارج کرده و خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس وزن شدند (۱۸). میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} Wi.\overline{Xi} \qquad (۱)$$

که در آن n تعداد دامنه اندازه خاکدانه‌ها، $\overline{X_i}$ میانگین قطر خاکدانه‌های روی هر الک و W_i نسبت وزن خشک خاکدانه‌های روی هر الک i به وزن خشک کل خاکدانه‌های خاک می‌باشد.

به منظور تعیین پایداری خاکدانه‌ها، ۲۰۰ گرم از نمونه خاک‌ها از الک ۶ میلی‌متری عبور داده شد. برای تعیین توزیع ثانویه ذرات در حالت خشک از سه الک با اندازه‌های ۲، ۱ و ۰/۵ میلی‌متر استفاده شد و نمونه‌ها به طور متوسط بوسیله دستگاه شیکر به مدت دو دقیقه الک شدند. سپس با توجه به درصد خاکدانه‌های مربوط به هر کلاس، توزیع اندازه ذرات درصد پایداری‌تر خاکدانه‌ها

1- Mean Weight Diameter
2- Aggregate Stability
3- Bulk Density
4- Aeration Porosity
5- Geometric Mean Diameter
6- Field Capacity
7- Gee and Bauder

محاسبه شد. خاکدانه پایدار در آب روی هر الک (WSA^{1}_{i}) از رابطه (۲) به دست آمد (۱۸).

$$WSAi = \frac{W_1 - W_3}{\frac{W_2}{4+Wc} - \sum_{t=1} WSt} \qquad (۲)$$

در رابطه ی ۲، W_1: وزن نمونه خاک مورد آزمایش (گرم)، W_2: وزن خشک هر بخش از خاکدانه روی هر الک (گرم)، W_3: وزن شن باقی‌مانده روی هر الک (گرم)، W_C: وزن رطوبت نمونه مورد آزمایش (گرم بر گرم)، i: شماره الک، WSt: وزن اولیه خاک (گرم) می باشند.

برای تعیین چگالی ظاهری، نمونه‌های خاک با استفاده از استوانه‌های آلومینیومی برداشته شدند سپس در آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت در حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس وزن شدند و پس از تفریق نمودن وزن ظرف، وزن خاک خشک تعیین شد. با توجه به مشخص بودن حجم نمونه‌ها، چگالی ظاهری هر نمونه از رابطه (۳) محاسبه شد (۲۲).

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_t} \qquad (۳)$$

در رابطه ۳، ρ_b چگالی ظاهری، m_s وزن خاک خشک و V_t حجم خاک یا حجم استوانه‌ی نمونه‌برداری می باشند.

به نسبت حجم هوا به حجم کل خاک تخلخل تهویه‌ای گویند که از رابطه ۴ محاسبه شد (۱۲):

$$Fa = \frac{V_a}{V_t} \qquad (۴)$$

در رابطه ۴، Fa تخلخل تهویه‌ای، Va حجم هوای خاک و Vt حجم نمونه خاک می باشند.

با اندازه‌گیری چگالی حقیقی خاک بوسیله پیکنومتر (۲۲) و اندازه گیری جرم خاک خشک در استوانه‌ی نمونه‌برداری، حجم ذرات خاک محاسبه شد و با تفریق حجم ذرات خاک از حجم استوانه‌ی نمونه برداری حجم هوا (Va) در نمونه‌های خاک محاسبه شدند.

میانگین قطر هندسی خاکدانه‌ها[2] از طریق رابطه ۵ محاسبه شد. در این رابطه GMD میانگین قطر هندسی خاکدانه‌ها، Xi میانگین قطر خاکدانه‌های مانده روی هر الک (mm) و Wi نسبت وزن خاکدانه‌های باقی مانده روی هر الک به وزن کل نمونه خاک میباشد (۱۹).

$$GMD = \exp\left\{\frac{\sum_{i=1}^{n} Wj.\log Xi}{\sum_{i=1}^{n} Wi}\right\} \qquad (۵)$$

برای اندازه‌گیری رطوبت در حد ظرفیت زراعی (F_c) از صفحات فشاری و رابطه ۶ استفاده شد (۲۳):

$$F_c = \frac{(m_w - m_s)\times 100}{m_s} \qquad (۶)$$

در این رابطه m_w, Fc و m_s به ترتیب نمایانگر درصد ظرفیت زراعی، وزن خاک مرطوب و وزن خاک خشک هستند.

ضریب انتقال خاک‌ورزی[3]

ضریب انتقال خاک در عملیات خاک‌ورزی عبارتست از مقدار انتقال خاک به ازای یک متر عرض ادوات خاک‌ورزی (ون اوست و همکاران[4]، ۲۸). این ضریب تابع چگالی ظاهری خاک (ρ_b)، عمق شخم (D) و مقدار انتقال (d) می‌باشد. برای اندازه‌گیری مقدار جابجایی خاک، مقدار جابجایی بلوک‌های رنگی هر عمق خاک (۹ -۰، ۹-۱۸ و ۲۵-۱۸ سانتیمتر) به کمک خط کش و متر نواری بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. با اندازه‌گیری میانگین فاصله جابجایی تعداد بلوک‌های گچی هر عمق، متوسط مقدار جابجایی برای هر عمق محاسبه شد. با استفاده از معادله شماره ۷ مقدار جابجایی خاک به ازای ۱ متر عرض شخم محاسبه شد (۱۱ و ۲۸).

1- Water Stable Aggregates

2- Geometric Mean Diameter (GMD)
3- Tillage translocation coefficient
4- Van Oost *et al.*

$$K = D.d.\rho_b \quad (۷)$$

در معادله ۷، ρ_b, d, D به ترتیب عبارتند از عمق خاک‌ورزی (m)، فاصله جابجایی (m) و چگالی ظاهری خاک ($kg\ m^{-3}$). در نهایت پس از انجام عملیات، داده‌های بدست آمده وارد نرم افزار MS-Excel شدند و برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SAS.9 استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس جدول ۱ خاک‌های مورد مطالعه غیرشور و هدایت الکتریکی آن‌ها زیر $1\ dS\ m^{-1}$ بود. مقدار مواد آلی آن‌ها زیر ۱ درصد که مقدار معمول برای اراضی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. کلاس بافت خاک‌ها هم لوم بود. همچنین درصد کربنات کلسیم معادل نمونه‌های خاک نشان می‌دهد که درصد کربنات کلسیم خاک‌ها نسبتا بالاست.

چگالی ظاهری نمونه‌های خاک کم بود و مانعی برای توسعه ریشه وجود نداشت. تخلخل تهویه‌ای بیش از ۱۰ درصد بود که نشان می‌دهد گیاه مشکلی از نظر تهویه ندارد. پایداری خاکدانه‌ها ۴۴/۰۸ درصد است که نشان‌دهنده پایداری زیاد در قبال فرسایش می‌باشد.

جدول شماره ۲ برخی دیگر از ویژگی‌های خاک ها را نشان می دهد. تخلخل تهویه‌ای نمونه‌های خاک حدود ۴۰ درصد است که مقدار نسبتا بالایی می‌باشد و نشان می‌دهد که خاک مورد نظر از تهویه مناسبی برخوردار است. در این راستا چگالی ظاهری خاک نسبتا کم است ($Mg\ m^{-3}$ ۱/۲۲) و نشانگر سهولت نفوذ ریشه گیاه در خاک می باشد.

نتایج جدول ۳ نشان دهنده نتایج تجزیه واریانس طرح می‌باشد. بر اساس این جدول نوع گاوآهن بر میانگین وزنی قطر ذرات و چگالی ظاهری خاک تأثیر معنی‌دار داشت. برای بررسی این اثرات با استفاده از آزمون دانکن میانگین‌های وزنی قطر ذرات و چگالی ظاهری خاکها بعد از استفاده از سه دستگاه گاوآهن مقایسه شده‌اند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میانگین‌های وزنی قطر ذرات خاک پس از خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار بطور معنی‌داری از گاوآهن قلمی و بشقابی بیشتر است. این موضوع با یافته‌های حاج‌عباسی (۱۴) و زیمانسکی و لوکیک (۲۴) نیز مطابقت دارد.

از سوی دیگر در تیمار گاوآهن برگرداندار میانگین چگالی ظاهری خاک بطور معنی‌داری از تیمارهای گاوآهن قلمی و بشقابی کمتر بود (جدول ۴). در این رابطه بوزاری و همکاران[1] (۴) و چگنی و همکاران (۵) گزارش کردند که روش‌های خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مورد مطالعه داشتند و در سیستم‌های خاک‌ورزی که از گاوآهن برگردان‌دار استفاده شد، چگالی ظاهری خاک به طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود.

همچنین حسینی و همکاران[2] (۱۷) گزارش نمودند که در طول دوره رشد گندم، کمترین چگالی ظاهری خاک در عمق ۸-۰ سانتی‌متری خاک به ترتیب مربوط به تیمار گاوآهن برگردان‌دار همراه با یک دیسک بود. جدول ۳ نشان می دهد که نوع گاوآهن بر میانگین قطر خاکدانه‌ها (MWD) و چگالی ظاهری خاک اثر معنی‌داری (ρ_b) داشت. امینی و همکاران[3] (۱) نیز طی تحقیقات خود اثر نوع ادوات خاک‌ورزی و شکل چرخ‌های ماشین‌های کشاورزی را بر برخی ویژگی های خاک بررسی و گزارش کردند که دو عامل ذکر شده موجب تغییر ساختمان خاک می‌شوند، همچنین این محققین گزارش کردند که نوع گاوآهن تاثیر معنی‌داری روی ظرفیت نگهداری آب (FC)، پایداری خاکدانه‌ها (WSA)، میانگین هندسی قطر ذرات (GMD) و تخلخل تهویه‌ای (Fa) خاک نداشت. حاج عباسی (۱۴) اثر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی نظیر خاک‌ورزی مرسوم (گاوآهن برگرداندار)، حداقل خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی را بر ویژگی‌های فیزیکی خاک نظیر رطوبت خاک، چگالی ظاهری و میانگین وزنی ذرات خاک بررسی و گزارش کرد که اثر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی تاثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مذکور خاک نداشت.

1- Busari *et al.*
2- Hosseini *et al.*
3- Amini *et al.*

جدول(۱) میانگین ودامنه تغییرات برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو لایه خاک سطحی

Table (1) Mean and range of several soil physical and chemical characteristics of the two soil surface layers

ویژگی خاک Soil characteristics		عمق خاک Soil depth 0-15 (cm)	عمق خاک Soil depth 15-25 (cm)
مواد آلی(٪)	Mean	0.76	0.77
OM (%)	Range	0.70-0.87	0.75-0.82
کربنات کلسیم معادل(٪)	Mean	11.5	12.7
CCE (%)	Range	11.0-11.8	12.0-14.0
pH	Mean	7.6	7.8
	Range	7.2-7.8	7.6-8.2
$EC(dSm^{-1})$	Mean	0.57	0.56-0.58
	Range	0.53	0
سیلت(٪)	Mean	42.4	41.1
Silt (%)	Range	42.2-42.7	40.5-42.7
رس(٪)	Mean	19.1	19.3
Clay (%)	Range	18.3-20.3	18.8-20.3
شن (٪)	Mean	38.2	38.5
Sand (%)	Range	37.1-39.3	37.9-39.2

جدول شماره (۲) میانگین برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها در لایه شخم (۲۵ cm) و ضریب تغییرات آن‌ها

Table (2) Several soil physical characteristics in plow layer (25 cm) and their coefficients of variations

	FC (%)	GMD (mm)	Fa (%)	$\rho_{b\ (g\ cm^{-3})}$	WSA (%)	MWD† (mm)
Mean	19.53	0.66	39.00	1.22	44.08	1.23
CV††(%)	3.15	7.42	3.51	16.15	5.27	13.07

†.GMD, Fa, ρb, WSA, MWD و FC به ترتیب عبارتند از میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، خاکدانه‌های پایدار در آب، چگالی ظاهری خاک، تخلخل هوایی، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها و ظرفیت زراعی خاک ††. ضریب تغییرات.

جدول(۳) خلاصه نتایج تجزیه واریانس برخی ویژگیهای خاک مورد ارزیابی بعد از خاک‌ورزی
Table (3) Analysis of variances of several soil characteristics after tillage

FC	GMD	Fa	ρ_b	WSA	MWD†	درجه آزادی	منابع تغییرات
$21.01^{n.s}$	$0.717^{n.s}$	$0.25^{n.s}$	$12.018^{n.s}$	$399.306^{n.s}$	$10.11^{n.s}$	2	تکرار Replication
$154.23^{n.s}$	$0.067^{n.s}$	$0.33^{n.s}$	1.479^{*}	$11.650^{n.s}$	12.96^{*}	2	نوع گاوآهن Tillage Type
$0.558^{n.s}$	$0.029^{n.s}$	$12.71^{n.s}$	$0.006^{n.s}$	$268.012^{n.s}$	$0.81^{n.s}$	3	شیب Slope
$1.30^{n.s}$	$590.061^{n.s}$	$473.45^{n.s}$	$3.063^{n.s}$	$27.800^{n.s}$	$0.73^{n.s}$	2	سرعت Speed
$12.55^{n.s}$	$8.269^{n.s}$	$9.02n^{\cdot s}$	$10.526^{n.s}$	$12.730^{n.s}$	$9.09^{n.s}$	4	گاوآهن × سرعت Speed * Tillge Type
$0.552^{n.s}$	$21.177^{n.s}$	$43.34^{n.s}$	$2.320^{n.s}$	$2.327^{n.s}$	$2.21^{n.s}$	6	گاوآهن × شیب Tillage type * slope
$66.230^{n.s}$	$21.067^{n.s}$	$34.57^{n.s}$	$1.343^{n.s}$	$31.214^{n.s}$	$13.34^{n.s}$	6	شیب × سرعت Speed * slope
$0.548^{n.s}$	$8117.029^{n.s}$	$2382.71^{n.s}$	$0.006^{n.s}$	$7.116^{n.s}$	$2.12^{n.s}$	12	گاوآهن × شیب × سرعت Tillage type*slope*speed

، * و n.s: به ترتیب به مفهوم معنی‌دار ۰/۰۵ >P و ۰/۰۱ >P و غیر معنی‌دار می‌باشند. (†. GMD, FA, ρb, WSA, MWD و FA به ترتیب عبارتند از میانگین وزنی قطر خاک دانه ها، خاکدانه های پایدار در آب، چگالی ظاهری خاک، تخلخل هوایی، میانگین هندسی قطر خاکدانه ها و ظرفیت زراعی خاک).

جدول(٤) اثر نوع گاوآهن بر میانگین وزنی قطر ذرات (mm) خاکدانه‌ها و چگالی ظاهری خاک ($Mg\ m^{-3}$)
Table (4) Effects of tillage types on mean weight diameter (mm) of soil aggregates and bulck density ($Mg\ m^{-3}$)

ρ_b	MWD	عامل خاکورزی Tillage Factor
1.21 c	1.55 a	گاوآهن برگردان‌دار Moldboard Plough
1.41 d	1.43 b	گاوآهن بشقابی Disk Plough
1.38 d	1.38 b	گاوآهن قلمی Chisel Plough

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ می‌باشد، آزمون دانکن)

ضریب انتقال خاک

جدول شماره ۵ نتایج تجزیه واریانس اثر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی را بر جابجایی خاک نشان می‌دهد. بر اساس این جدول اثر نوع گاوآهن بر جابجایی خاک در سه بخش عمق شخم معنی‌دار شد. بزرگی ضریب جابجایی برای سیستم‌های خاک‌ورزی مورد استفاده به ترتیب به صورت گاوآهن برگرداندار > گاوآهن بشقابی > گاوآهن قلمی بود (شکل ۳). شکل ۳ نشان می دهد که گاوآهن برگرداندار با ضریب جابجایی ۱۴۱ کیلوگرم بر متر در هر عملیات، بالاترین ضریب را به خود اختصاص داد. گرچه ضریب جابجایی برای گاوآهن بشقابی بیشتر از ضریب جابجایی خاک برای گاوآهن قلمی است ولی آزمون مقایسه میانگین ها به روش دانکن نشان داد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین این دو ضریب جابجایی خاک وجود ندارد ولی ضریب جابجایی برای گاوآهن برگرداندار از نظر آماری با ضرایب جابجایی خاک ناشی از گاوآهن های بشقابی و قلمی اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) را نشان داد (شکل ۳). ون مایزن و همکاران (۲۶) مقدار ضریب انتقال خاک‌ورزی ناشی از گاوآهن قلمی را ۵۴۵ کیلوگرم بر متر گزارش کردند. ون اوست و همکاران (۲۷) با استفاده از سزیم ۱۳۷ ضریب انتقال مزارع مکانیزه در کشور بلژیک را ۵۵۰ کیلوگرم بر متر در سال و هکرث و همکاران[1] (۱۵) ضریب انتقال ناشی از خاک‌ورزی را در کشور دانمارک اندازه‌گیری و مقدار ۴۵۶ کیلوگرم بر متر در سال را گزارش کردند. دو آلبا[2] (۷) ضریب انتقال خاک را برای گاوآهن برگرداندار در خاک‌های اسپانیا بر روی خطوط میزان ۱۶۴ کیلوگرم بر متر برآورد کرد که نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده در این تحقیق است. ون مایزن و همکاران[3] (۲۵) ضریب انتقال خاک ناشی از خاک‌ورزی با گاوآهن قلمی را ۵۴۵ کیلوگرم بر متر در هر عملیات گزارش کردند. داسیلوا و الکساندر[4] (۸) در دو آزمایش میدانی مقدار ضریب انتقال خاک‌ورزی مرحله دوم دو نوع خاک را برای هرس بشقابی با دو سرعت متفاوت ۵/۳ و ۲/۹ کیلومتر بر ساعت در کشور پرتقال اندازه‌گیری کردند. این محققین گزارش کردند که در خاک‌ورزی با سرعت ۵/۳ کیلومتر بر ساعت (در خاک با چگالی ظاهری $1/65\ Mg\ m^{-3}$ و عمق خاکورزی ۷ cm) مقدار ضریب انتقال خاک‌ورزی بین ۹ و ۳۳۳ کیلوگرم بر متر در هر عملیات متغیر بود و هنگامی که (برای خاک با چگالی ظاهری $1/178\ Mg\ m^{-3}$ با عمق خاک‌ورزی ۸ cm) از سرعت خاک‌ورزی ۲/۹ کیلومتر بر ساعت استفاده شد مقدار ضریب انتقال بین ۱۸ و ۷۷۰ کیلوگرم بر متر در هر عملیات مشاهده شد.با توجه به معنی‌دار بودن اثر سرعت بر میزان انتقال خاک (جدول ۵)، ضریب انتقال در سرعتهای ۲، ۵ و ۸ کیلومتر بر ساعت مورد بررسی قرار گرفت.

شکل ۴ نشان می‌دهد که جابجایی خاک با سرعت گاوآهن رابطه‌ی مستقیمی دارد و با افزایش سرعت خاک‌ورزی میزان جابجایی خاک برای هر سه نوع گاوآهن افزایش یافت. همچنین در همه سطوح سرعت، بیشترین ضریب خاکورزی متعلق به گاوآهن برگرداندار و کمترین ضریب خاکورزی مربوط به گاوآهن قلمی بود (شکل ۴).

بررسی مقدار جابجایی خاک در بخش‌های مختلف عمق خاک‌ورزی نشان داد که بیشترین مقادیر جابجایی مربوط به بخش سطحی خاک (۹ cm-۰) و کمترین مقدار جابجایی خاک مربوط به بخش سوم عمق شخم (۲۵ cm-۱۸) است(شکل۵).

این روند برای هر سه ادوات خاک‌ورزی یکسان بود (شکل ۵). نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان می‌دهد که درجه شیب تاثیر معنی‌داری بر انتقال خاک در این پژوهش نداشت. برخلاف یافته‌های این پژوهش، هکرات و همکاران (۱۵) فرسایش ناشی از خاک‌ورزی و بارش را در دانمارک به کمک ردیاب سزیم ۱۳۷ بررسی کردند و گزارش کردند که توپوگرافی و شیب بر این نوع فرسایش موثر است. ون مایزن و همکاران (۲۶) تاثیر شیب، عمق خاک، سرعت خاکورزی و شرایط خاک (انسجام و جدا

1- Heckrath *et al.*
2- De Alba
3- Van Muysen *et al.*
4- Da Silva and Alexander

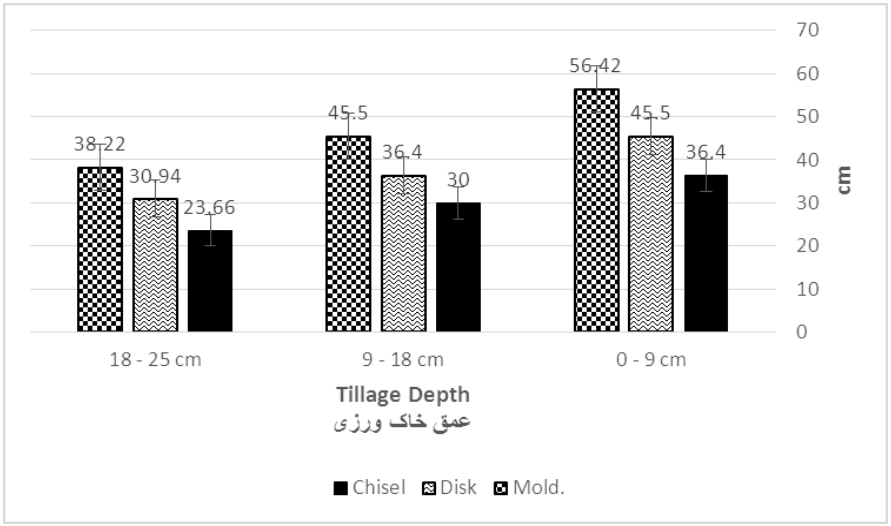
بودن ذرات) را بر فرسایش ناشی از خاک‌ورزی در کشور بلژیک بررسی کردند و مشابه یافته های ما گزارش کردند که شیب اراضی تاثیری بر مقدار فرسایش ناشی از شخم ندارد.

جدول (۵) تجزیه واریانس برای جابجایی خاک در لایه‌های مختلف عمق شخم.

Table (5) Analysis of variance for soil translocation in different layers of plow depth.

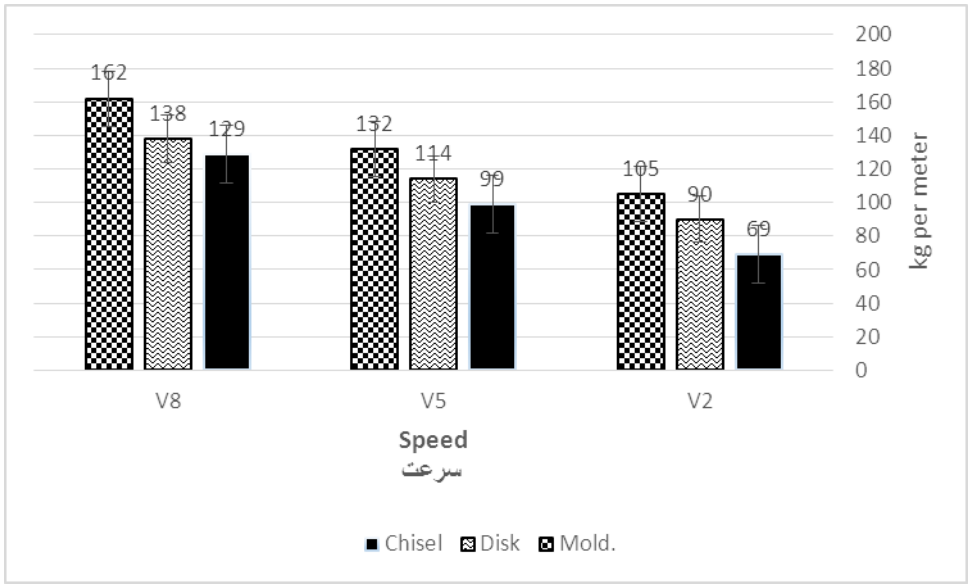
عمق شخم (cm) Tillage depth (cm)			df	منبع تغییر Source of variation
18-25	9-18	0-9		
$5.32^{n.s}$	$8.9^{n.s}$	$10.21^{n.s}$	2	تکرار Replication
16.00^{**}	8.59^{*}	10.00^{**}	2	گاوآهن Tillage Factor
5.31^{ns}	8.07^{ns}	10.21^{ns}	3	شیب Slope
16.10^{*}	28.37^{*}	32.16^{*}	2	سرعت Speed
16.10^{*}	8.21^{*}	21.43^{*}	4	گاوآهن * سرعت Tillage*speed
11.13^{*}	31.21^{*}	22.21^{*}	6	شیب * سرعت Slope * speed
$31.32^{n.s}$	$8.20^{n.s}$	$10.12^{n.s}$	6	گاوآهن * شیب Slope*tillage
$0.98^{n.s}$	$7.54^{n.s}$	$0.45^{n.s}$	24	گاوآهن * شیب * سرعت Tillage*slope*speed
1.12	7.54	1.12		ضریب تغییرات (٪) Coefficient of Variations

*، ** و ns به ترتیب معرف معنی دار درسطح $P<0.05$ ، معنی دار در سطح $P<0.01$ و غیر معنی دار می باشند.



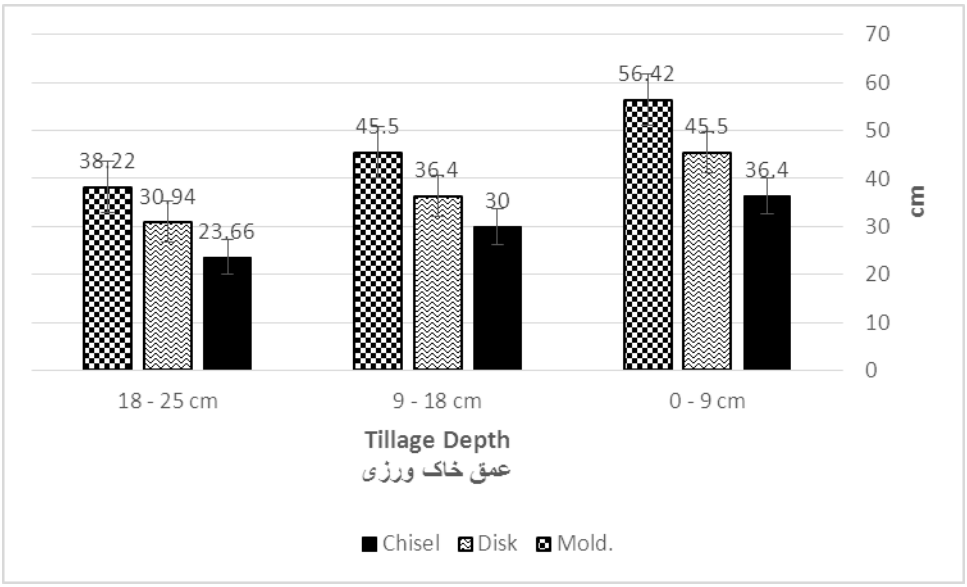
شکل(۳) مقایسه میانگین‌های ضریب جابجایی خاک ($kg\ m^{-1}$) برای سه نوع ادوات خاک‌ورزی برگرداندار (.mold)، بشقابی (disk) و قلمی (chisel) (به روش دانکن)

Figure (3) Comparison of means of soil coefficients of translocation ($kg\ m^{-1}$) for three tillage instruments, moldboard, disk and chisel plough (Dunkan method)



شکل(٤) ضریب جابجایی خاک (kgm^{-1}) برای سه نوع ابزار خاکورزی: برگرداندار (mould)، بشقابی (disk) و قلمی (chisel) در سرعت های مختلف (V5, V2 و V8 به ترتیب معرف سرعت ۲، ۵ و ۸ کیلومتر بر ساعت هستند).

Figure (4) Soil coefficient of translocation (km m^{-1}) for three tillage instruments: moldboard, disk and chisel under different speed levels (V2, V5 and V8 denote 2, 5 and 8 km h^{-1}).



شکل(٥) میانگین جابجایی خاک (cm) برای برای سه نوع ابزار خاک‌ورزی برگرداندار (.Mold)، بشقابی (Disk) و قلمی (chisel) در لایه های مختلف عمق شخم.

Figure (5) Mean soil translocation (cm) for three tillage instruments molboard, disk and chisel plough in different layers of plough depth.

نتیجه‌گیری

خاک‌ورزی عملیاتی تعریف می‌شود که طی آن با برهم زدن شرایط فیزیکی خاک بستر بذر و ناحیه ریشه گیاه تغییر می‌کند و خاک را برای کشت و کار مناسب می‌سازد. مرسوم‌ترین گاوآهن برای خاک‌ورزی در کشور گاوآهن برگرداندار است و گزارش‌های متعددی ناشی از تاثیر منفی این نوع گاوآهن بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و فرسایش خاک ناشی از آن وجود دارد. این گزارش‌ها لزوم تحقیق بر عملکرد این گاوآهن و در صورت صحت آنها جستجوی جایگزینی مناسب‌تر برای آن را ایجاب می کند و این تحقیق در این راستا برنامه‌ریزی شد. در این تحقیق علاوه بر گاوآهن برگرداندار از گاوآهن‌های بشقابی و قلمی نیز استفاده شد. مقایسه نتایج خاک ورزی این سه گاوآهن نشان داد که بیش‌ترین میانگین قطر خاکدانه‌ها و کم‌ترین چگالی ظااهری خاک پس از خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار ایجاد شده است. با توجه به اهمیت اندازه قطر خاکدانه‌ها بر مقاومت خاک به فرسایش پاشمانی، این موضوع نشان می‌دهد که فرسایش‌پذیری خاک پس از خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار کمترین مقدار است. علاوه بر این کاهش چگالی ظاهری خاک بر نفوذپذیری و افزایش ظرفیت نگهداری خاک بسیار موثر است. مقایسه ضریب انتقال خاک برای سه گاوآهن مورد استفاده نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین انتقال خاک به ترتیب ناشی از گاوآهن برگرداندار و گاوآهن قلمی است و بیشترین میزان انتقال خاک در همه‌ی خاک‌ورزی‌ها از بخش سطحی لایه شخم صورت میگیرد که غنی از موادآلی و عناصر غذایی است. لذا استفاده از گاوآهن قلمی برای جلوگیری از انتقال خاک توصیه می‌شود. شیب اراضی بر میزان انتقال خاک توسط ادوات خاک‌ورزی بی‌تاثیر بود ولی سرعت ادوات خاک‌ورزی رابطه مستقیمی با ضریب انتقال خاک داشت. لذا ضروری است که هنگام استفاده از سه گاوآهن مورد بررسی بویژه گاوآهن برگرداندار از حداقل سرعت خاکورزی استفاده‌شود.

References

1. Amini, S., Asoodar, M.A. 2015. Investigation the effect of conservation tillage on soil organic matter (SOM) and soil organic carbon (SOC) (The Review). New York Science Journal 2015; 8(3): 15-25

2. Ahmadimoghadam, P. and Shahidi, K. 2008. Machin and Soil Relation (Soil Physics and Mechanics and Tillage). Jahad Daneshgahi, Uromiyeh Unit. 85p.

3. Barzegar, A. 2009. Advanced Soil Physics. Ahvaz Shahid Chamran University Publication. 348p (In Persian with English abstract)

4. Busari, M.A., Kukal, A. and Bhatt R.D. 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. International Soil and Water Conservation Research. Vol. 3, No. 2: 119-129.

5. Chegini, M., Ansaridost, Sh. And Eskandari, H. 2013. Effect of tillage type and plant residue management on several physical soil characteristics in relation to sustainable agriculture. Danesh of Keshavarzi Paidar J. Vol. 24, No.2: 31-40. (In Persian with English abstract)

6. Cotler, H., and Ortega-Larrocea, M.P. 2006. Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico. Catena. 65: 107-117.

7. De Alba, S. 2001. Modelling the effect of complex topographies and pattern of tillage on soil translocation by tillage by Moldboard plough. Journal of Soil and Water Conservation 56: 335-345

8. da Silva, J.R.M., and Alexander, C. 2004. Implement and soil condition effect on tillage induced erosion. Soil and Tillage Research 78, 207-216

9. 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.

10. Gee, G. W., and Bauder, J. W. 1986. Particle size analysis. In: Klute A. Method of soil analysis. Part 1 Soil Science Society of Ameriaca. Madison WI.

11. Govers, G., Vandaele, K., Desmet, P., Paesen, J., and Bunte, K. 1994. The role of tillage in soil redistribution in hillslopes. European Journal of Soil Science 45:469-478

12. Hajabbasi, M. A. 2001. Case study in Brojen County, Chaharmahal va Bakhtiari, Iran: Effect of rangeland conversion into agriculture on some soil physical characteristics, soil fertility and cultivation. J. of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. Vol. 6 (1): 149-161 (In Persian with English abstract).

13. Hajabbasi, M.A., and Hemmat, A. 2000. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in clay-loam soil in central Iran. Soil and Tillage Research Journal, 56: 205-212.

14. Hajabbasi, M.A. 2005. Soil physical properties due to different tillage systems in Dryland Regions of Northwest Iran. Caspian J. of Environmental Sciences. Vol. 3(2): 89-97

15. Heckrath, G., Djurhuus, J., Quine, T.A., Van Oost, K., Govers, G., and Zhang Y. 2005. Tillage erosion and its effect on soil properties and crop yield in Denmark. Journal of Environmental Quality 34: 312-324

16. Heydari, A. 2010. Effect of tillage methods on physical soil characteristics and yield of irrigated wheat. J. of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Sciences. Vol. 15 (57): 115-124 (In Persian with English abstract)

17. Hosseini, B. 2012. Effect of experiment condition, amount of organic matter, clay and calcium carbonate on mean weight diameter and stress resistance of aggregates in some soils of Hamadan province. J. of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. Vol. 44: 123-134. (In Persian with English abstract)

18. Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution". In: Klute, A., (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. ASA-SSSA, Madison: 425–440.

19. Klute, A. 1986. Water retention: laboratory methods. PP. 635-662. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd edition. Agronomy Monogram. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

20. Komissarov, M.A. and Klik, A. 2020. The impact of No-Tillage and conservation tillage systems on erosion and soil properties in lower Austria. Eurasia Soil Science Vol. 53 (4): 503-511

21. Liu, J.C. 2009. Effect of tillage speed and straw length on soil and straw movement. Soil and Tillage Research 109: 9-17.

22. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R.1982. Method of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties. 2nd edition, Agronomy monogram. ASA and SSSA. Madison, WI.

23. Sepaskhah, A. 2007. Determination of soil moisture characteristics curve by using soil physical characteristics. Summary Papers of the 6th Soil Science Congress of Iran, Ferdowsi of Mashhad University, p. 311. (In Persian with English abstract)

24. Simansky, V., and Lukac, M. 2018. Soil structure after 18 years of long-term different tillage systems and fertilization in Haplic Luvisols. Soil and Water Research No. 3: 140-149. Doi-org/10.17221/38/2017-SWR

25. Singh, B.R., and Haile, M. 2007. Impact of tillage and nitrogen fertilization on yield, nitrogen use efficiency of tef (*Eragrostis Tef* (Zucc.) Trotter) and soil properties. Soil and Tillage Research, 94: 55-63.

26. Van Muysen, W., Govers, G., Van Oost, K., and Van Rompaey, A. 2000. The effect of tillage depth, tillage speed and soil condition on chisel tillage erosivity. Journal of Soil and Water Conservation 53: 355-364

27. Van Oost, K., Govers, G., Van Muysen, W. 2003a. A process-based conservation model for Caesium-137 derived erosion rate on agricultural land: An integrated spatial approach. Earth Surface Processes and Landforms 28: 187-207

28. Van Oost, K., Van Muysen, W., Govers, G., Heckrath, G., Quine, T.A., and Poesen, J. 2003b. Simulation of the redistribution of soil by tillage on complex topographies. European Journal of Soil Science 54:63-76