نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۵، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۴، ص ۳۸۰-۳۶۸

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 5, No. 2, Fall - Winter 2015, p. 368-380

بررسی اثر سرعت و عمق خاک‌ورزی حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک

اصغر محمودی[1*] - آرمان جلالی[2] - مصطفی ولیزاده[3] - ایرج اسکندری[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۳

چکیده:

خاک‌ورزی با مهیا کردن وضعیت مناسب خاک، برای جذب رطوبت و دمای کافی برای جوانه‌زنی و رشد بذر و هم‌چنین با کاهش مقاومت به نفوذ خاک، سبب توسعه آسان‌تر ریشه می‌گردد. با توجه به مزایای خاک‌ورزی حفاظتی و کمبود تحقیق علمی در مورد ادوات خاک‌ورزی حفاظتی وارداتی و تولید داخل و اهمیت فاکتورهای سرعت و عمق خاک‌ورزی بر عملکرد انواع خاک‌ورزها، این تحقیق در قالب طرح آزمایشی کرت‌های دوبار خرد شده بر پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی در دو شهرستان بستان‌آباد و هشترود اجرا گردید. فاکتور اصلی عمق خاک‌ورزی (در دو سطح ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر) و فاکتور فرعی سرعت خاک‌ورزی (در چهار سطح ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر بر ساعت برای شهرستان بستان‌آباد و ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ کیلومتر بر ساعت برای شهرستان هشترود) و فاکتور فرعی دوم عمق نمونه‌برداری (عمق خاک) در دو سطح ۱۰-۵ و ۲۰-۱۵ سانتی‌متر در چهار تکرار با استفاده از خاک‌ورز مرکب آگرومت پنج شاخه ساخت شرکت سازه کشت بوکان، با استفاده از دو دستگاه تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ به‌ترتیب در شهرستان‌های بستان‌آباد و هشترود انجام گرفت. در این تحقیق اثر هر دو فاکتور سرعت و عمق خاک‌ورزی روی ویژگی جرم مخصوص ظاهری خاک (در دو عمق نمونه‌برداری ۱۰-۵ و ۲۰-۱۵ سانتی‌متر) بررسی شد. در حالت کلی نتایج نشان داد که با افزایش سرعت خاک‌ورزی، جرم مخصوص ظاهری خاک، کاهش پیدا کرد و افزایش عمق خاک‌ورزی، سبب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک شد. بهترین سرعت، خاک‌ورزی ۱۰ کیلومتر بر ساعت و عمق ۱۰ سانتی‌متر برای دستگاه آگرومت پنج شاخه در هر دو شهرستان حاصل گردید.

واژه‌های کلیدی: جرم مخصوص ظاهری، خاک، خاک‌ورزی حفاظتی، سرعت، عمق

مقدمه

جرم مخصوص ظاهری خاک، بستگی به ساختار خاک (شن، رس، سیلت) و چگالی ذرات خاک دارد. بسیاری از سنگ‌ها دارای چگالی ظاهری ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌صورت ایده‌آل می‌باشند. یک خاک با بافت متوسط، با حدود ۵۰ درصد منافذ، دارای حدود ۱/۳۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب جرم مخصوص ظاهری است. جرم مخصوص ظاهری معمولاً با افزایش عمق خاک افزایش می‌یابد تا زمانی‌که سطح زیرین دارای کمبود مواد آلی، تراکم و مقاومت به نفوذ قابل مقایسه‌ای با سطح خاک باشد، در این صورت فضای منافذ خاک کاهش یافته است (Arshad *et al.*, 1996).

جرم مخصوص ظاهری خاک یکی از مهم‌ترین خواص فیزیکی خاک است که تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی قرار دارد (Voorheese and Linstrom, 1984). جرم مخصوص ظاهری خاک با نوع محصول کشاورزی و مدیریت مزرعه تغییر می‌کند و متأثر از پوشش خاک، مواد آلی، ساختار و تخلخل خاک است. هرگونه عملیات برای بهبود ساختار خاک با کاهش جرم مخصوص ظاهری همراه خواهد بود، در حالی‌که در بعضی مواقع، ممکن است آنی و زودگذر باشند. هر سیستم خاک‌ورزی که سبب پوشش خاک توسط بقایا گردد (خاک‌ورزی حفاظتی) باعث افزایش مواد آلی خاک می‌گردد که این به‌نوبه‌ی خود سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌گردد (Arshad *et al.*, 1996).

جرم مخصوص ظاهری خاک‌های شخم خورده، غالباً کمتر از آن در خاک‌های شخم نخورده یا کم شخم خورده است. هم‌چنین گزارش شده که جرم مخصوص ظاهری خاک در سطح خاک شخم خورده کمتر از عمق خاک است (Celik and Altikal, 2010). البته در این رابطه نباید نوع و نحوه کاربرد وسایل به‌کار رفته در خاک‌ورزی را از نظر دور داشت. زیرا تردد ماشین‌ها و ادوات سنگین موجب ایجاد یک لایه سخت در زیر قسمت شخم خورده می‌شود که با فشرده ساختن

۱- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: (Email: a_mahmoudi@tabrizu.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری مکانیزاسیون، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز
۳- استاد گروه بیوتکنولوژی، دانشگاه تبریز
۴- استادیار و عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور

خاک، موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌گردد. نتیجه این عمل کاهش نفوذپذیری خاک، کم شدن توسعه ریشه‌های گیاهی و کاهش عملکرد محصول می‌باشد (Lindstrrom and Onstad, 1984). اختلاف موجود در خواص فیزیکی خاک ناشی از روش‌های خاک‌ورزی، عموماً ناپایدار بوده و خلل و فرج ایجاد شده در اثر خاک‌ورزی پس از بارندگی یا آبیاری از بین می‌رود (Ahuja *et al.*, 1998). (Kral *et al.*, 2013) در تحقیق انجام گرفته روی اثر خاک‌ورزی بر خواص فیزیکی خاک به این نتیجه رسیدند که افزایش جرم مخصوص ظاهری و کاهش خلل و فرج در اثر استفاده مکرر عملیات خاک‌ورزی در عمق زیاد حادث می‌شود و جرم مخصوص ظاهری خاک با افزایش عمق خاک، افزایش می‌یابد. در تحقیقی دیگر روی اثر خاک‌ورزی بر خواص فیزیکی خاک به این نتیجه رسیدند که در خاک شخم خورده، سطح خاک نرم‌تر از خاک زیرین می‌باشد (Osunbitan *et al.*, 2005). تخلخل، پایداری و ساختمان خاک، تحت تأثیر فشردگی خاک قرار می‌گیرد (Mohajer- Mazandarani and Asoudar, 2011).

بی‌ثباتی به‌وجود آمده در ساختمان خاک و فشردگی آن و مصرف زیاد انرژی، از معایب خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد. با توجه به مزایای خاک‌ورزی حفاظتی و واردات و تولید انواع خاک‌ورزهای حفاظتی در داخل کشور و انجام تحقیقات کمتر روی عملکرد این ادوات در سطح کشور، این تحقیق در قالب طرح آزمایشی اسپلیت اسپلیت پلات (کرت‌های دو بار خرد شده) بر پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با فاکتورهای سرعت خاک‌ورزی در چهار سطح، عمق خاک‌ورزی در دو سطح و در چهار تکرار با استفاده از خاک‌ورز مرکب آگرومت ۵، ساخت شرکت سازه کشت بوکان که در منطقه آذربایجان‌شرقی بیش‌تر رواج یافته، در دو شهرستان بستان‌آباد و هشترود، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با استفاده از دستگاه آگرومت ساخت شرکت سازه کشت بوکان که تصویر آن در شکل ۱ و مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است، در دو شهرستان بستان‌آباد (روستای آلوار) و هشترود (روستای قویون قشلاق)، در مزارعی با نوع بافت خاک شنی- لومی خوب دانه‌بندی شده، که در سال زراعی ۹۱-۹۰ توسط زارعین زیر کشت گندم بودند، در قالب طرح آماری کرت‌های دو بار خرد شده (اسپلیت اسپلیت پلات) بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی، در چهار تکرار به مرحله‌ی اجرا گذاشته شد. فاکتور اصلی عمق خاک‌ورزی (در دو سطح ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر) و فاکتور فرعی سرعت خاک‌ورزی در چهار سطح (۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر بر ساعت در شهرستان بستان‌آباد و ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ کیلومتر بر ساعت در شهرستان هشترود) در نظر گرفته شد. جرم مخصوص ظاهری خاک (در دو عمق ۱۰-۵ و ۲۰-۱۵ سانتی‌متر از سطح خاک) اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مشخصات خاک‌ورز حفاظتی

نوک تیغه و باله‌ها (چپ و راست) همگی به‌صورت جدا با پیچ وصل شده‌اند و می‌توانند به‌صورت مستقل عوض گردند. دو جفت دیسک مقعر با لبه‌های دندانه‌دار، که دیسک‌های هر جفت خلاف جهت هم، روی یک ساقه فنری نصب شده‌اند، از آن‌جا که توپی دیسک‌های مقعر یک واحدند، هر دوی آن‌ها می‌توانند به‌طور هم‌زمان به عمق کاری یکسان با دیگری برسند که باعث کار آرایی پیوسته و منظم خاک‌ورز می‌گردد. خاک‌ورز مرکب به یک غلتک قفسه‌ای دندانه‌ای مضرس به قطر ۳۰۰ میلی‌متر مجهز می‌باشد. این غلتک‌ها دست‌یابی به عمق کاری دقیق‌تر را تسهیل می‌نمایند.

جدول ۱- مشخصات دستگاه خاک‌ورز مرکب آگرومت ۵ شاخه

Table 1- Specification of Agromet 5 conservation tillage

Agromet 5	آگرومت ۵
190	عرض کار (سانتی‌متر) Working width (cm)
5	ساقه دوباره نشین خودکار Number of tins
4	تعداد دیسک Number of disks
40	قطر دیسک (سانتی‌متر) Disks Diameters (cm)
75	قدرت مورد نیاز (اسب بخار) Power required (hp)
600	وزن دستگاه (کیلوگرم) Weight (kg)

شکل ۱- خاک‌ورز مرکب آگرومت ۵ شاخه

Fig.1. Agromet 5

بعد از برداشت گندم کشت شده و بعد از جمع‌آوری بقایای روی خاک، با استفاده از استوانه‌های نمونه‌برداری به قطر ۴/۹ سانتی‌متر و

ارتفاع ۵ سانتی‌متر و حجم ۹۴/۵ سانتی‌متر مکعب، نمونه‌های دست‌نخورده از عمق‌های ۱۰- ۵ و ۲۰- ۱۵ سانتی‌متر برداشته شد. برای نمونه‌برداری ابتدا به‌اندازه‌ی ۵ سانتی‌متر از سطح خاک به‌آرامی کنار زده شد. استوانه نمونه‌برداری در سطح خاک قرار گرفته و با استفاده از چکش مخصوص در خاک فرو برده شد. سپس به‌آرامی، خاک‌های اطراف استوانه و بالای آن را کنار زده و استوانه از خاک بیرون آورده شده و درپوش بالایی آن قرار داده شد. خاک‌های طرف دیگر با استفاده از کاردک تمیز شده و بعد از قرار دادن درپوش طرف دیگر توزین گشت. سپس در پلاستیکی که قبلاً برای آن مسیر و کرت مشخص شده بود قرار داده شد. برای جلوگیری از خروج رطوبت، از پلاستیک‌های ZIPKIP استفاده گردید.

در آزمایشگاه نمونه‌ها در آون و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. بعد از ۲۴ ساعت توزین و از رابطه (۱) جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه شد (Marshall and Holmes, 1999):

$$BD=W_d/V \quad (۱)$$

BD= جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

W_d= وزن خشک خاک (گرم)

V= حجم نمونه‌ی دست نخورده (سانتی‌متر مکعب)

با توجه به معنی‌دار نبودن خطای فاکتور اصلی (عمق خاک‌ورزی) نسبت به خطای فاکتورهای فرعی (سرعت خاک‌ورزی و عمق نمونه‌برداری) تجزیه آماری به‌صورت فاکتوریل انجام گرفت و عمق نمونه‌برداری به‌عنوان فاکتور سوم در نظر گرفته شد.

مقایسه میانگین داده‌ها با روش دانکن در سطح احتمال یک درصد ($p \leq ۰/۰۱$) انجام گرفت.

تجزیه واریانس ساده و مرکب داده‌ها و رسم نمودارها به‌ترتیب با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 16.0 و Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر سرعت خاک‌ورزی (S)، عمق خاک‌ورزی (D) و عمق نمونه‌برداری (Sa) بر میزان جرم مخصوص ظاهری خاک (BD) در جدول ۲ نشان داده شده است. در بستان‌آباد، اثر سرعت خاک‌ورزی، اثر متقابل سرعت و عمق خاک‌ورزی (S × D) در سطح احتمال یک درصد ($p \leq ۰/۰۱$) و اثرعمق خاک‌ورزی و عمق نمونه‌برداری در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq ۰/۰۵$) معنی‌دار شده، ولی اثرات متقابل S × Sa، D × Sa و S × D × Sa معنی‌دار نشدند. در هشترود اثر سرعت خاک‌ورزی و عمق نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد ($p \leq ۰/۰۱$) و اثر عمق خاک‌ورزی و اثر متقابل سرعت و عمق خاک‌ورزی (S × D) در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq ۰/۰۵$) معنی‌دار شده، ولی اثرات متقابل S × Sa، D × Sa و S × D × Sa معنی‌دار نشدند.

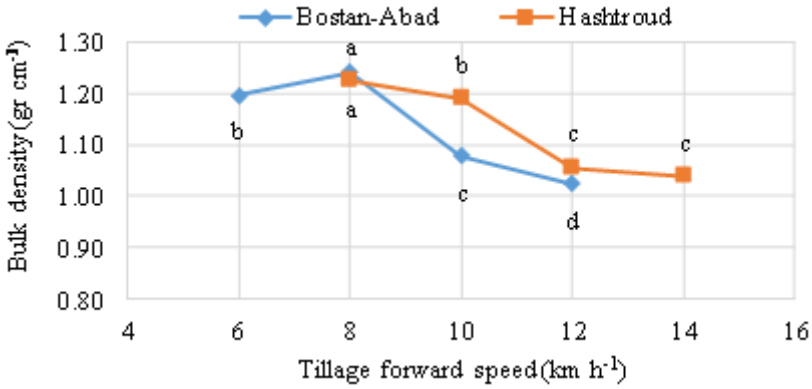
جدول۲- نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثر سرعت خاک‌ورزی (S)، عمق خاک‌ورزی (D) و عمق نمونه‌برداری (Sa) بر میزان جرم مخصوص ظاهری خاک در بستان‌آباد و هشترود

Table 2- The effects of forward speed, depth and soil sampling depth of conservation tillage on soil bulk density in Bostanabad and Hashtroud

تیمارها Treatments	درجه آزادی Degree of freedom	جرم مخصوص ظاهری Bulk density	
		بستان‌آباد Bostan-Abad	هشترود Hashtroud
سرعت (S) Forward speed	3	0.164**	0.140**
عمق خاک‌ورزی (D) Tillage depth	1	0.008*	0.005*
S × D	3	0.020**	0.004*
عمق نمونه برداری (Sa) Sample depth	1	0.008*	0.029**
S × Sa	3	0.004 ns	0.002 ns
D × Sa	2	0.004 ns	0.001 ns
S × D × Sa	3	0.006 ns	0.006 ns
خطا Error	48	0.002	0.002
ضریب تغییرات (٪) C.V.	-	3.86	4.99

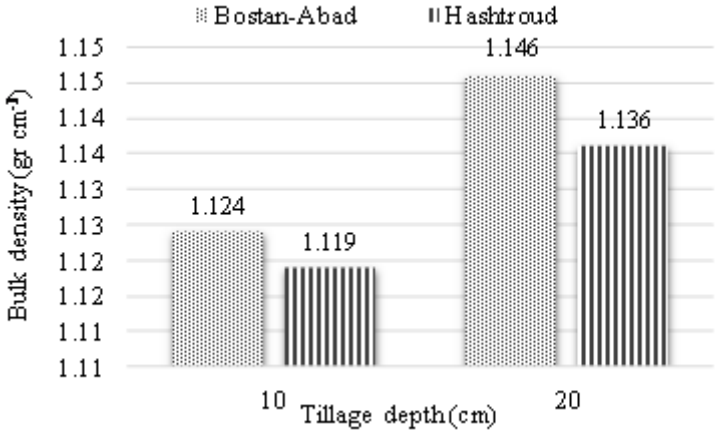
**، * و ns به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار می‌باشند.

**, * and ns means significant at one percent, five percent and not significant



شکل ۲- اثر سرعت خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک

Fig. 2. Effect of tillage forward speed on bulk density



شکل۳- اثر عمق خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک

Fig. 3. Effect of tillage depth on Bulk density

براساس نتایج، با افزایش سرعت خاک‌ورزی، میزان جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (شکل ۲ و ۳) که یکی از دلایل کاهش وزن مخصوص در سرعت‌های بالاتر این است که وقت کافی برای اعمال وزن تراکتور و دستگاه بر خاک وجود ندارد تا تراکم به‌وجود آید، هم‌چنین افزایش جرم مخصوص ظاهری با افزایش عمق خاک‌ورزی مشاهده شد. در بررسی اثر متقابل سرعت و عمق خاک‌ورزی بر میزان جرم مخصوص ظاهری خاک در شهرستان بستان‌آباد (شکل ۴ و ۵)، با افزایش سرعت و کاهش عمق خاک‌ورزی، کاهش در میزان جرم مخصوص ظاهری مشاهده شد. یکی از دلایل این کاهش، ایجاد تخلخل زیاد در خاک است. بدین معنی که با افزایش سرعت خاک‌ورزی، خاک بیش‌تر جابه‌جا شده و درنتیجه خلل و فرج خاک افزایش یافته و میزان جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. از نظر اثر عمق خاک‌ورزی روی جرم مخصوص ظاهری خاک، با افزایش عمق خاک‌ورزی، افزایش در میزان جرم مخصوص ظاهری مشاهده شده است. یکی از دلایل این افزایش، فضای کم برای جابه‌جایی ذرات خاک در عمق می‌باشد. از دلایل دیگر می‌توان به وقوع عمق بحرانی اشاره نمود. بدین صورت که با افزایش عمق کاری دیگر خاک به سمت بالا در قسمت پایین واحد خاک‌ورز هدایت نمی‌گردد و خاک صرفاً به طرفین (عمود بر جهت حرکت) فشار داده می‌شود. که درنتیجه این فشار سبب تراکم خاک در سطح زیرین و کاهش تخلخل می‌گردد که این منجر به افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق بیش‌تر می‌شود، ولی در بالای عمق بحرانی یا نزدیک به سطح خاک، که به سمت بالا دانه‌های خاک هدایت می‌شوند موجب پراکندگی خاک به طرفین و درنتیجه کاهش جرم خصوص خاک و تخلخل خاک می‌گردد. علت ثابت ماندن میزان جرم مخصوص ظاهری در هشترود با افزایش

سرعت از ۱۰ به ۱۲ کیلومتر بر ساعت، مربوط به محدوده جرم مخصوص ظاهری می‌باشد، که دیگر نمی‌تواند از یک مقدار کمتر گردد. در بستان‌آباد، کمترین میزان جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمار، S_4D_2 با مقدار ۰/۹۸۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب حادث شده و بیش‌ترین میزان در تیمار S_2D_2 با مقدار ۱/۲۶۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. در هشترود بیش‌ترین میزان مربوط به تیمار S_1D_2 با مقدار ۱/۳۲۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کمترین میزان مربوط به تیمار S_3D_1 به مقدار ۱/۰۲۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد (جدول ۳).

در ارتباط با اثر عمق نمونه‌برداری بر جرم مخصوص ظاهری خاک (شکل ۶)، با افزایش عمق خاک، افزایش در میزان جرم مخصوص ظاهری خاک مشاهده می‌شود. یکی از دلایل این افزایش فشردگی در اثر تردد ادوات و ماشین‌های کشاورزی در سطح خاک می‌باشد. این فشردگی هم‌چنین به‌دلیل استفاده از خاک‌ورزی در عمق ثابت از بین نرفته و در نتیجه با افزایش عمق خاک‌ورزی میزان جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش می‌یابد.

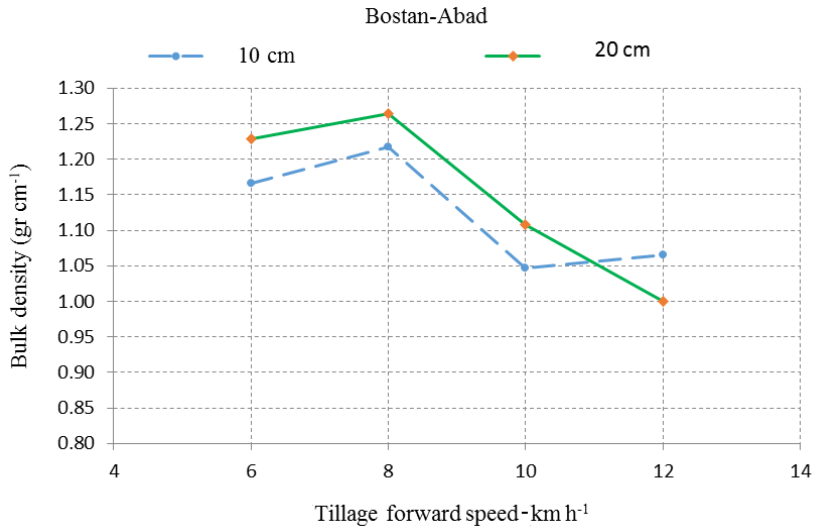
جدول ۳- مقایسه میانگین مربوط جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق‌ها و سرعت‌های مختلف خاک‌ورزی

Table 3- Average value of soil bulk density in tillage different depths and forward speeds

مکان Field	سرعت Forward speed / عمق Depth	۶ کیلومتر بر ساعت 6 km h^{-1}	۸ کیلومتر بر ساعت 8 km h^{-1}	۱۰ کیلومتر بر ساعت 10 km h^{-1}	۱۲ کیلومتر بر ساعت 12 km h^{-1}	۱۴ کیلومتر بر ساعت 14 km h^{-1}
بستان‌آباد Bostan-Abad	۱۰ سانتی‌متر (D_1) 10 Centimeter	1.17 c	1.22 b	1.05 e	1.07 de	----
	۲۰ سانتی‌متر (D_2) 20 Centimeter	1.23 ab	1.26 a	1.11 d	1.00 f	----
هشترود Hashtroud	۱۰ سانتی‌متر (D_1) 10 Centimeter	-----	1.22 a	1.19 b	1.02 d	1.04 d
	۲۰ سانتی‌متر (D_2) 20 Centimeter	-----	1.33 a	1.19 b	1.09 cd	1.04 d

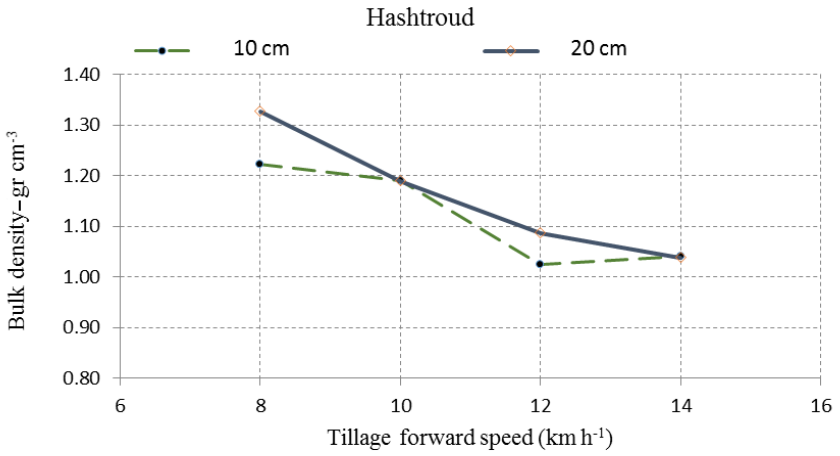
حروف متفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد را نشان می‌دهند.

Different letters indicate significant at the one percent level.



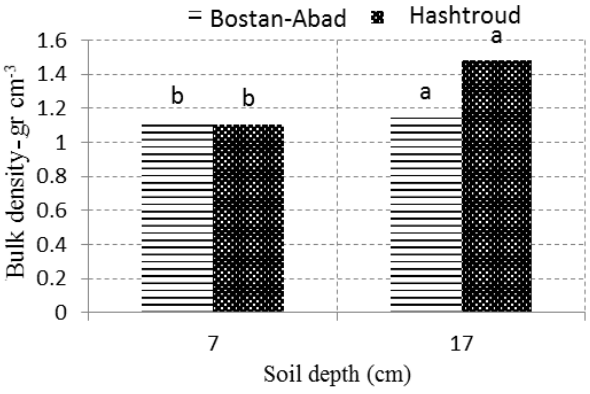
شکل ٤- جرم مخصوص ظاهری خاک در سرعت و عمق‌های مختلف خاک‌ورزی- بستان‌آباد

Fig. 4. Effect of tillage depth and forward speed on bulk density-Bostan-Abad



شکل ۵- جرم مخصوص ظاهری خاک در سرعت و عمق‌های مختلف خاک‌ورزی - هشترود

Fig. 5. Effect of tillage depth and forward speed on Bulk density- Hashtroud



شکل ٦- اثر عمق نمونه‌برداری بر جرم مخصوص ظاهری خاک

Fig. 6. Effect of Soil depth on Bulk density

برای تعیین مناسب‌ترین سرعت و عمق خاک‌ورزی از لحاظ میزان جرم مخصوص ظاهری خاک، تجزیه مرکب انجام گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب اثر سرعت خاک‌ورزی (S)، عمق خاک‌ورزی (D)، عمق نمونه‌برداری (Sa) و مکان خاک‌ورزی (L) بر میزان جرم مخصوص ظاهری خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. اثر مکان خاک‌ورزی، سرعت خاک‌ورزی و اثرات متقابل S × L، S × D و S × Sa، S × L (شکل۷ و ۸) و اثر متقابل سه‌گانه S × Sa × L در سطح احتمال یک درصد ($p\leq$۰/۰۱) و اثر عمق نمونه‌برداری و اثر متقابل سه‌گانه S × D × L در سطح احتمال پنج درصد ($p\leq$۰/۰۵) معنی‌دار شدند. ولی اثر عمق خاک‌ورزی و اثرات متقابل D × Sa، S × D × L، Sa × L، D × Sa × L و S × D × Sa × L معنی‌دار نبودند.

در ارتباط با اثر متقابل سرعت و عمق خاک‌ورزی (شکل ۸)، با افزایش سرعت خاک‌ورزی، در هر دو عمق خاک‌ورزی، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش یافت. این کاهش در شکل ۷ که مربوط به اثر سرعت خاک‌ورزی روی جرم مخصوص ظاهری خاک می‌باشد به‌صورت معنی‌دار می‌باشد. علت تغییر ترکیب در سرعت ۱۲ کیلومتر بر ساعت، محدوده کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌باشد. بدین معنی‌که بیش از این مقدار جرم مخصوص ظاهری کاهش نمی‌یابد، زیرا که، خاک در حالت طبیعی و بدون فشردگی دارای یک مقدار جرم مخصوص ظاهری است. به‌ترتیب کمترین و بیش‌ترین میزان جرم مخصوص ظاهری در ترکیب تیماری S_1D_2 و S_3D_2 با مقادیر ۱/۲۱ و ۱/۰۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب حادث شده است.

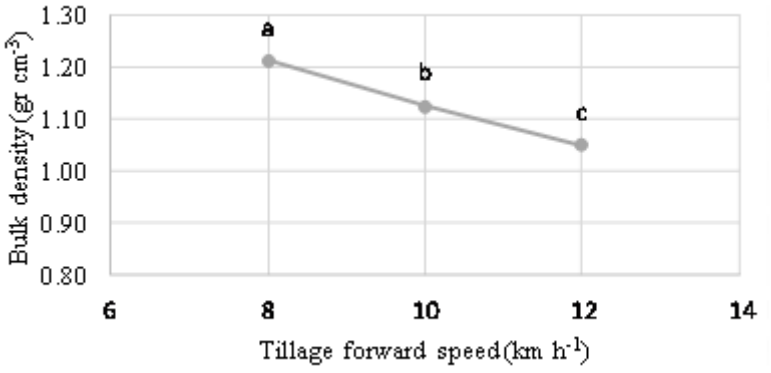
جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب و اثر متقابل سرعت خاک‌ورزی، عمق خاک‌ورزی، عمق نمونه‌برداری و مکان خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک

Table 3- Combined variance analysis of tillage forward speed, tilling depth, soil sampling depth, and field type on bulk density

جرم مخصوص ظاهری Bulk Density	درجه آزادی Degree freedom	تیمارها Treatments
0.022**	1	مکان (L) Field
0.013	6	خطا Error
0.213**	2	سرعت (S) Forward speed
0.048**	2	S × L
0.000 ns	1	عمق خاک‌ورزی (D) Tillage depth
0.001 ns	1	D × L
0.017**	2	S × D
0.010*	2	S × D × L
0.013*	1	عمق نمونه‌برداری (Sa) Soil depth
0.000 ns	1	Sa × L
0.016**	2	S × Sa
0.000 ns	1	D × Sa
0.023**	2	S × Sa × L
0.001 ns	1	D × Sa × L
0.007 ns	2	S × D × Sa
0.002 ns	2	S × D × Sa × L
0.002	66	خطا Error
18.10	-	ضریب تغییرات (٪) C.V.

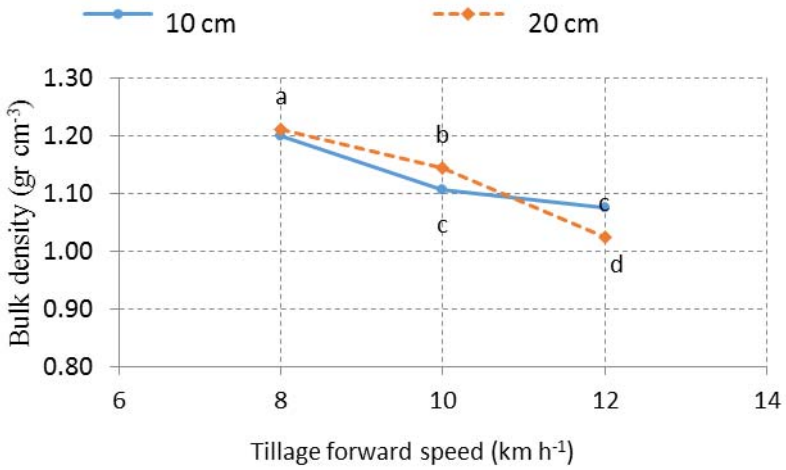
**، * و ns به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار می‌باشند.

**,* and ns means significant at one percent, five percent and not significant



شکل ۷- اثر سرعت خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک

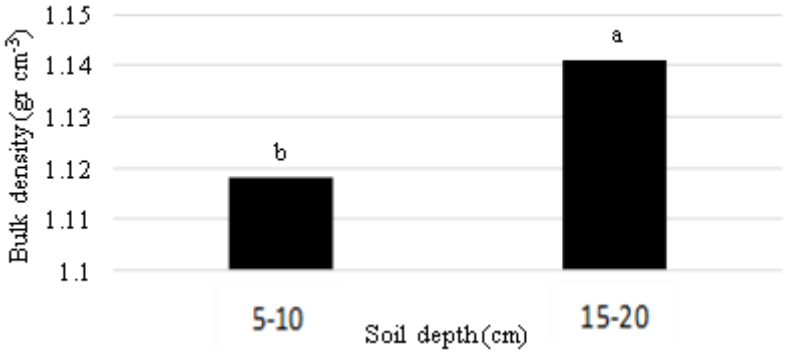
Fig. 7. Effect of tillage forward speed on bulk density



شکل ۸- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در سرعت و عمق مختلف خاک‌ورزی در تجزیه مرکب

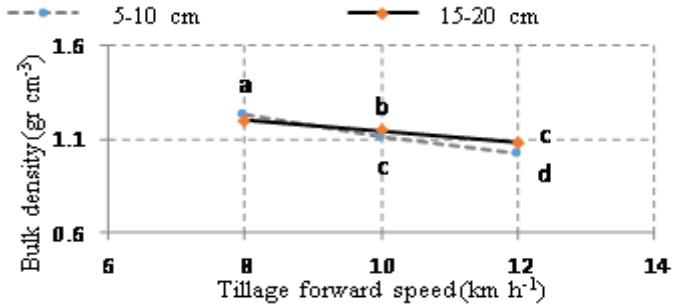
Fig. 8. Effect of tillage forward speed and depth on bulk density

باتوجه به شکل ۱۰، در ارتباط با اثر متقابل سرعت و عمق نمونه‌برداری روی جرم مخصوص ظاهری خاک، با افزایش سرعت خاک‌ورزی جرم مخصوص ظاهری کاهش یافته و با افزایش عمق خاک‌ورزی جرم مخصوص افزایش یافته است که در شکل ۹ نیز این نتیجه مشاهده می‌گردد. در سرعت ۸ کیلومتر بر ساعت در عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متر جرم مخصوص ظاهری خاک کمتر از عمق ۱۰-۵ سانتی‌متر می‌باشد ولی معنی‌دار نیست.



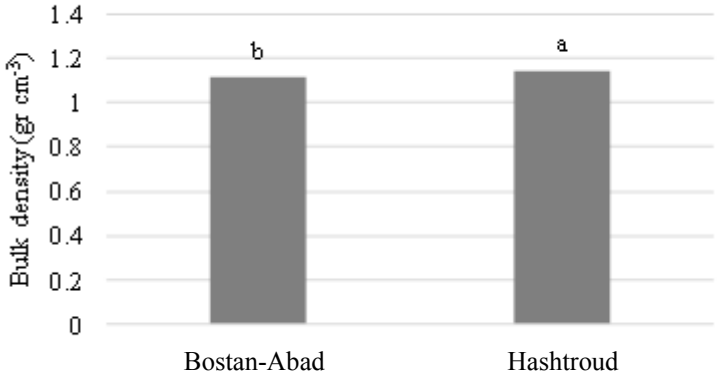
شکل ۹- اثر عمق نمونه‌برداری بر جرم مخصوص ظاهری خاک (تجزیه مرکب)

Fig. 9. Effect of soil depth on Bulk density



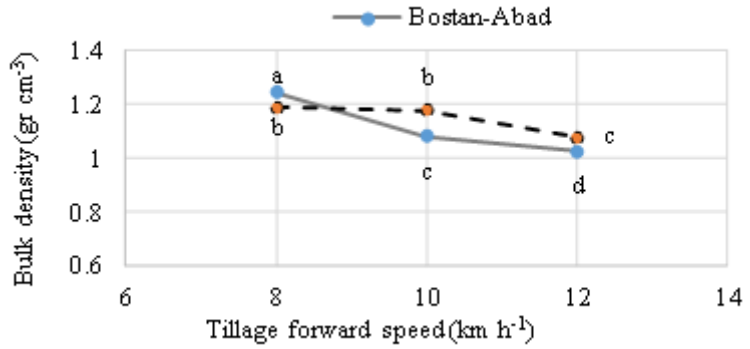
شکل ۱۰- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در سرعت‌های مختلف خاک‌ورزی و عمق نمونه‌برداری در تجزیه مرکب

Fig. 10. Effect of tillage forward speed and soil depth on Bulk density



شکل ۱۱- جرم مخصوص ظاهری خاک در مکان‌های مختلف خاک‌ورزی در تجزیه مرکب

Fig. 11. Effect of field on Bulk density



شکل ۱۲- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در سرعت و مکان‌های مختلف خاک‌ورزی در تجزیه مرکب

Fig. 12. Effect of tillage forward speed and field type on bulk density

جدول ٤- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در تجزیه مرکب در سرعت، عمق خاک‌ورزی و مکان خاک‌ورزی

Table 4- Average value of effect tillage forward speed, depth and field on bulk density

مکان Field	سرعت Forward speed / عمق Depth	۸ کیلومتر بر ساعت 8 km h^{-1}	۱۰ کیلومتر بر ساعت 10 km h^{-1}	۱۲ کیلومتر بر ساعت 12 km h^{-1}
بستان‌آباد Bostan-Abad	۱۰ سانتی‌متر 10 Centimeter	1.22 b	1.05 e	1.07 de
	۲۰ سانتی‌متر 20 Centimeter	1.26 a	1.11 d	0.98 f
هشترود Hashtroud	۱۰ سانتی‌متر 10 Centimeter	1.19 bc	1.17 c	1.08 de
	۲۰ سانتی‌متر 20 Centimeter	1.18 bc	1.18 bc	1.07 de

حروف متفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد را نشان می‌دهند.

Different letters indicate significant at the one percent level.

نتایج این بخش نیز با نتایج حاصل از مطالعات (Boydas and Turgut, 2007; Raper, 2002; Abbaspour *et al.*, 2006)، در رابطه با بررسی اثر سرعت و عمق خاک‌ورزی بر میزان جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق‌های مختلف مطابقت کامل دارد. مطابق پژوهش‌های انجام گرفته، افزایش عمق خاک‌ورزی و عمق خاک باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود ولی افزایش سرعت خاک‌ورزی، باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌گردد که با نتایج به‌دست آمده در این طرح مطابقت دارند.

جدول۵- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در سرعت‌های مختلف خاک‌ورزی، عمق نمونه‌برداری و مکان‌های مختلف خاک‌ورزی در تجزیه مرکب

Table 5- Average value of effect tillage forward speed, soil depth and field on bulk density

مکان Field	سرعت Forward Speed / عمق Depth	۸ کیلومتر بر ساعت 8 km h^{-1}	۱۰ کیلومتر بر ساعت 10 km h^{-1}	۱۲ کیلومتر بر ساعت 12 km h^{-1}
بستان‌آباد Bostan-Abad	۱۰ سانتی‌متر 10 Centimeter	1.24 a	1.04 e	1.02 e
	۲۰ سانتی‌متر 20 Centimeter	1.25 a	1.11 d	1.02 e
هشترود Hashtroud	۱۰ سانتی‌متر 10 Centimeter	1.21 ab	1.17 c	1.02 e
	۲۰ سانتی‌متر 20 Centimeter	1.15 cd	1.17 bc	1.17 cd

حروف متفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد را نشان می‌دهند.

Different letters indicate significant at the one percent level.

نتیجه‌گیری

جرم مخصوص ظاهری خاک، با افزایش سرعت، کاهش و با افزایش عمق خاک‌ورزی، افزایش یافته است. مناسب‌ترین سرعت خاک‌ورزی با توجه به نتایج به‌دست آمده از جرم مخصوص ظاهری ۱۰ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. در استفاده از این دستگاه در دو منطقه بستان‌آباد و هشترود، در کل، سرعت خاک‌ورزی ۱۰ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۱۰ سانتی‌متر توصیه می‌گردد.

منابع

1. Abbaspour, Y., A. Khalilian, R. Alimardani, A. Kyhani, and H. Sasati. 2006. A comparison of energy requirement of uniformdepth and variable depth tillage as affected by travel speed and soil moisture. Iranian Agricultural Science 37 (4): 573-583.
2. Arshad, M. A., B. Lowery, and B. Grossman. 1996. Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America.
3. Ahuja, L. R., F. Fiedler, G. H. Dunn, J. G. Benjamin, and A. Garrison. 1998. Changes in soil water retention curves due to tillage and natural reconsolidation. Soil Science Society of America Journal 62 (5): 1228-1233.
4. Alvarenga, R. C., B. Fernandes, and T. C. Silva. 1987. Effect of different methods of soil prepration and maize residue management on bulk density, total porosity and pore size distribution in arid latosal revise ceres. Agron Journal 8 (34): 569-577.
5. Boydas, M. G., and N. Turgut. 2007. Effect of tillage implements and operating speeds on soil physical properties and wheat emergence. Turk J Agric For. 31: 399-412.
6. Carter, L. M., and R. F. Colwick. 1971. Evaluation of tillage systems for cotton production systems. Transactions of the ASAE 14: 1116-1121.
7. Cassel, D. K., C. W. Raczkowski, and H. P. Denton. 1995. Tillage effects on corn production and soil

physical conditions. Soil Science Society of America 59 (5): 1436-1443.
8. Celik, A., and S. Altikal. 2010. Effects of various strip width and tractor forwards speeds in strip tillage on soil physical properties and yield of silageorn. International Journal of Agricultural Science 169-179.
9. Kral, A., J. Lipiel, M. Tursk, and J. Kus. 2013. Effect of organic and convertional management on physical properties of soil aggregates. International Journal of Agro-Physics 27: 15-21.
10. Lindstrom, M. J., and C. A. Onstad. 1984. Influence of tillage systems on soil physical parameters and infiltration after planting. Journal of Soil and Water Conservation 39 (2): 149-152.
11. Marshall, T. J., J. W. Holmes, and C. W. Rose. 1999. Soil Physics (3 ed.). Syndicate of University of Combridge.
12. Mohajer- Mazandarani, F., and M. A. Asoudar. 2012. Effect of different tillage systems and pressure wheel on wheat yeild in Izeh city, Khuzestan priviance. Agriculture engineering Institute 11 (1): 1-18.
13. Osunbitan, J. A., D. J. Oyedele, and K. O. Adekalu. 2005. Tillage effects on bulk density hydraulic conductivity and strength of a loam sand soil in southwestern Nigeria. Soil & Tillage Research 82: 57-64.
14. Raper, R. L. 2002. The influence of implement type, tillage depth and tillage timing on residue burial. American Society of Agricultural Engineers 45 (5): 1281-1286.
15. Voorhees, W. B., and M. J. Linstorm. 1984. Long term effects of tillage methods on soil tilth independant of wheel trafic compaction. Soil Science Society of America Journal 48 (1): 152-156.
16. Voorhees, W. B. 1983. Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviating wheel-induced soil compaction. Soil Science Society of America 47 (1): 129-133.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 5, No. 2, Fall - Winter 2015, p. 368-380

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۵، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۴، ص ۳۸۰-۳۶۸

The effects of forward speed and depth of conservation tillage on soil bulk density

A. Mahmoudi[1*]- A. Jalali [2]- M. Valizadeh[3]- I. Skandari[4]

Received: 23-11-2013
Accepted: 02-02-2014

Introduction: In recent years, production techniques and equipment have been developed for conservation of tillage systems that have been adopted by many farmers. With proper management, overall yield averages for conventional and reduced tillage systems are nearly identical. Sometimes, field operations can be combined by connecting two or more implements. Combined operations reduce both fuel consumption, and time and labor requirements by eliminating at least one individual trip over the field. Light tillage, spraying, or fertilizing operations can be combined with either primary or secondary tillage or planting operations. Tillage helps seed growth and germination through providing appropriate conditions for soil to absorb sufficient temperature and humidity. Moreover, it helps easier development of root through reducing soil penetration resistance. Tillage is a time-consuming and expensive procedure. With the application of agricultural operations, we can save substantial amounts of fuel, time and energy consumption. Conservation tillage loosens the soil without turning, but by remaining the plant left overs, stems and roots. Bulk density reflects the soil's ability to function for structural support, water and solute movement, and soil aeration. Bulk densities above thresholds indicate impaired function. Bulk density is also used to convert between weight and volume of soil. It is used to express soil physical, chemical and biological measurements on a volumetric basis for soil quality assessment and comparisons between management systems. This increases the validity of comparisons by removing the error associated with differences in soil density at the time of sampling. The aim of conservation tillage is to fix the soil structure. This investigation was carried out considering the advantages of conservation tillage and less scientific research works on imported conservation tillage devices and those which are made inside the country, besides the importance of tillage depth and speed in different tiller performance.

Materials and methods: This investigation was carried out based on random blocks in the form of split plot experimental design. The main factor, tillage depth, (was 10 and 20cm at both levels) and the second factor, tillage speed, (was 6, 8, 10, 12 km h^{-1} in four levels for Bostan-Abad and 8,10,12,14 km h^{-1} for Hashtrood) with four repetitions. It was carried out using complex tillage made in Sazeh Keshte Bukan Company, which is mostly used in Eastern Azerbaijanand using Massey Ferguson 285 and 399 tractors in Bostab-Abad and Hashtrood, respectively. In this investigation, the characteristics of soil bulk density were studied in two sampling depths of 7 and 17 centimeters. Bulk density is an indicator of soil compaction. It is calculated as the dry weight of soil divided by its volume. This volume includes the volume of soil particles and the volume of pores among soil particles. Bulk density is typically expressed in g cm^{-3}.

Results and Discussion: In this study, the effect of both factors on the feature of the soil bulk density at the sampling depth of 5-10 and 15-20 cm was examined. In Bostan-Abad, regarding tillage speed effect for studies characteristics at 1% probability level ($p<0.01$) on soil bulk density was effective. The effect of tillage depth on the soil bulk density was significant at 5% probability level ($p<0.05$). The interaction effect of tillage speed and depth on soil bulk density was significant at probability level of 1% ($p<0.01$). Regarding sampling depth effect, the soil bulk density was significant at 5% ($p<0.05$) probability level, respectively. In Hashtrood, the effect of tillage speed on soil bulk density at probability level of 1% ($p<0.01$), and also tillage depth effect on soil bulk density was significant at 5% level of probability ($p<0.05$). The interaction effect of tillage speed and depth on soil bulk density was significant at 5% level of probability ($p<0.05$). Regarding the depth of sampling it was significant on soil bulk density at probability level of 1% ($p<0.01$). Through an increase in tillage speed, soil bulk density reduces at unit level.

Conclusions: In this study, the effect of both factors on the feature of the soil bulk density in the sampling depth of 5-10 and 15-20 cm was examined. In Bostan-Abad and Hashtroud, on the whole, the results indicated that the increase in

1- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, University of Tabriz, Iran
2- PhD Student, Department of Biosystem Engineering, University of Tabriz, Iran
3- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Tabriz, Iran
4- Faculty member, Dry land Agriculture Research Institute, Maragheh, Iran
(*- Corresponding Author Email: a_mahmoudi@tabrizu.ac.ir)

the speed of tillage, soil bulk density, was reduced and the speed of 10 kilometers per hour was the best for this to implement work. Also, with an increasing depth of tillage, the bulk density increased. Through an increase in tillage speed, soil bulk density reduced at unit level. Moreover, the optimum speed was concluded 10km per hour. Through an increase in tillage depth, bulk density and soil humidity increase accordingly. The best tillage depth using this machine is 10cm.

Keywords: Bulk density, Conservation tillage, Depth, Soil, Speed