نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۵، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۴، ص ۷۲-۶۳

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 5, No. 1, Spring - Summer 2015, p. 63-72

مقایسه کارایی هرس بشقابی، سیکلوتیلر و روتیواتور در رطوبت‌های مختلف در یک خاک لوم رسی در مازندران

مجید رجبی وندچالی[۱*]- عباس همت[۲]- عباس قنبری مالیدره[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

در کشاورزی مکانیزه، حدوداً ۶۰ درصد از انرژی مکانیکی مصرفی، صرف عملیات خاک‌ورزی و تهیه‌ی بستر بذر می‌شود. از طرفی، سیستم خاک‌ورزی نامناسب، خواص فیزیکی خاک را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده و باعث تخریب ساختمان خاک می‌گردد. از این رو به‌منظور مقایسه عملکرد سه نوع دستگاه خاک‌ورز ثانویه، آزمایشی در یکی از مزارع گندم شهرستان جویبار به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. رطوبت خاک به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (۲۵/۰-۲۳/۶، ۲۳/۶-۲۲/۲ و ۲۲/۲-۲۰/۸ درصد بر مبنای وزن خشک) و نوع وسیله‌ی خاک‌ورز به‌عنوان عامل فرعی نیز در سه سطح (هرس بشقابی دو بار عمود بر هم، سیکلوتیلر و روتیواتور) بود. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل: قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها، چگالی ظاهری خاک، مصرف ویژه سوخت، بازده و ظرفیت ماشین بودند. تأثیر تیمارها و برهم‌کنش بین آن‌ها بر مصرف ویژه سوخت، بازده و ظرفیت ماشین و نیز اثر نوع دستگاه و رطوبت خاک بر چگالی ظاهری معنی‌دار بود ($P<0/01$). با کاهش رطوبت، چگالی ظاهری ۱۵/۳ درصد کاهش، مصرف ویژه سوخت ۱۱/۸ درصد افزایش، اما بازده و ظرفیت ماشین، به‌ترتیب افزایش و کاهش یافتند. بیشترین چگالی ظاهری و بازده ماشین با روتیواتور و بیشترین مصرف ویژه سوخت و ظرفیت ماشین با سیکلوتیلر حاصل شد. برای انتخاب ترکیب مناسب، معیاری معرفی شد که براساس آن، مناسب‌ترین ترکیب، سیکلوتیلر و رطوبت خاک ۲۴/۳ درصد (بر مبنای وزن خشک) بود.

واژه‌های کلیدی: انرژی، خواص فیزیکی خاک، دستگاه خاک‌ورز ثانویه، رطوبت خاک، مصرف ویژه سوخت

مقدمه

امروزه با توجه به رشد و توسعه روزافزون کشاورزی و اهمیت آن در تأمین نیازهای اولیه بشر، پارامترهای مؤثر بر میزان هزینه‌ها، بازده، مصرف سوخت و غیره بسیار مهم جلوه می‌دهند. یکی از بخش‌های مهم در کشاورزی، عملیات خاک‌ورزی است که این پارامترها را به مقدار زیادی تحت تأثیر قرار می‌دهد. عملیات خاک‌ورزی مناسب، موجب بهبود ساختمان خاک، افزایش خلل و فرج، توزیع بهتر خاک‌دانه‌ها و نهایتاً اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود (Akef and Bagheri, 1999).

از خصوصیات فیزیکی مهم خاک جهت یکنواختی سبز شدن بذر، ابعاد خاک‌دانه‌ها (متوسط وزنی قطر کلوخه‌ها) و چگالی ظاهری خاک است. متوسط وزنی قطر کلوخه‌ها مهم‌ترین معیار کمی جهت بیان درجه خرد شدن خاک محسوب می‌شود (Loghavi and Behnam, 1998)؛ به‌طوری‌که هر چه مقدار آن کاهش یابد، متوسط ابعاد خاک‌دانه‌ها نیز کاهش می‌یابد. چگالی ظاهری خاک در میزان نفوذ آب به خاک و رشد ریشه‌های گیاه مؤثر است. افزایش قطر کلوخه‌ها و چگالی ظاهری خاک باعث کاهش سبز شدن گیاهچه می‌شود (Nasr and Selles, 1995). نتایج نشان داده است که با افزایش عمق شخم و رسیدن به لایه خشک‌تر خاک، متوسط وزنی قطر کلوخه‌ها افزایش می‌یابد (Yaseen *et al.*, 1992). مقایسه‌ی میانگین متوسط وزنی قطر کلوخه‌های حاصل از اجرای عملیات شخم توسط گاوآهن بشقابی در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت در خاکی با بافت لوم رسی، حاکی از آن بود که اجرای شخم در محدوده‌ی رطوبتی ۱۰ تا ۱۲ درصد، باعث افزایش معنی‌دار تعداد کلوخه‌های درشت‌تر نسبت به دو محدوده‌ی رطوبتی ۱۳ تا ۱۵ درصد و ۱۶ تا ۱۸ درصد شد (Loghavi and Behnam, 1998).

تغییرات خواص فیزیکی خاک به‌دلیل خاک‌ورزی، با چندین عامل در ارتباط است که عبارت هستند از: نوع خاک، نوع وسیله‌ی خاک‌ورزی، عمق خاک‌ورزی، شرایط خاک نظیر رطوبت و شرایط

۱- مربی گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.rajabi@jouybariau.ac.ir)
۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳- استادیار گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار

اقلیمی (Chang and Lindwall, 1990). در شخم اولیه توسط گاوآهن برگردان‌دار، سطحی کلوخه‌ای و ناهموار ایجاد می‌شود که نیاز به چند بار دیسک‌زنی در مناطق مختلف دارد. این عمل ممکن است ساختار خاک را تحت تأثیر قرار داده، لایه‌ای سخت ایجاد نماید و هزینه‌ی عملیات و زمان انجام کار را به‌طور معنی‌داری تغییر دهد (Javadi and Hajiahmad, 2006). علاوه بر هرس‌های بشقابی، از ادوات خاک‌ورز دوار برای عملیات خاک‌ورزی ثانویه نیز استفاده می‌شود (ASAE Standard, 2005). استفاده از روتیواتورها در باغات و شالیزارها به‌صورت روزافزونی مورد استقبال قرار گرفته است. بررسی‌های مختلفی بر روی کارکرد روتیواتورها در راستای استفاده بهینه و مطلوب از این دستگاه جهت کاهش مصرف توان و بهبود فرآیند خاک‌ورزی صورت گرفته است (Shiresmailie and Heidari Soltanabad, 2009). اخیراً خاک‌ورزهای دوار محور عمودی مورد توجه خاصی در ایران قرار گرفته‌اند. از جمله سیکلوتیلر که طبق شرایط کاری اروپا عرضه شده و عملکرد خوبی از لحاظ دانه‌بندی خاک و ایجاد سطحی هموار داشته است. ولی به‌طور کلی تحقیقات روی ادوات دوار محور عمودی بسیار اندک است (Baghban Kheibari *et al.*, 2008). یک سیکلوتیلر مزیت حفظ رطوبت و جلوگیری از ظهور خاک لایه‌ی زیرین و سنگ و کلوخه در لایه‌ی سطحی را به‌همراه دارد (Berntsen and Berre, 2002).

تهیه بستر مناسب بذر از جمله عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و کاهش هزینه‌های تولید است. حدود ۶۰ درصد از انرژی مکانیکی مورد مصرف در کشاورزی ماشینی، صرف عملیات خاک‌ورزی و تهیه‌ی بستر می‌شود (Jacobs and Harrel, 1983). پارامترهای عملکردی دستگاه خاک‌ورز از جمله بازده ماشین، زمان انجام کار و مصرف سوخت، تحت تأثیر نوع وسیله‌ی خاک‌ورز است (Hemmat and Asadi Khashoei, 1995). امروزه که بحران مصرف انرژی بیشتر دامن‌گیر بشر شده است، بیشترین تلاش‌ها به انتخاب ادوات مناسب‌تر، استفاده مؤثرتر از آن‌ها و به حداقل رساندن مصرف سوخت معطوف شده است (Reshad Sedghi and Loghavi, 2009). انتخاب صحیح ادوات، انجام خاک‌ورزی در رطوبت مناسب و به‌کارگیری روش‌های کم خاک‌ورزی، از جمله عواملی هستند که می‌توانند سبب کاهش انرژی مصرفی و آلودگی محیط زیست گردند (Rouzbeh *et al.*, 2002).

در منطقه شمال کشور به‌خصوص در استان مازندران متداول است که پس از برداشت محصول قبلی، عملیات شخم اولیه توسط گاوآهن برگردان‌دار انجام گرفته سپس خاک‌ورزی ثانویه توسط یکی از ادوات هرس بشقابی، روتیواتور و اخیراً سیکلوتیلر اجرا می‌گردد. میزان رضایت‌مندی کشاورزان از این ادوات کاملاً متفاوت بود به‌گونه‌ای که از عملکرد هر کدام در جای خود جانب‌داری می‌گردد. با توجه به تحقیقات انجام شده، کاربرد نادرست این دستگاه‌ها و شرایط کاری نامناسب آن‌ها ممکن است سبب اعمال تنش‌های شدید به خاک گشته، خواص فیزیکی خاک را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده و باعث تخریب ساختمان خاک گردد. تخریب ساختار خاک ممکن است منجر به غیر یکنواختی جوانه زنی بذر، کاهش رشد ریشه و کاهش نفوذ آب به درون خاک گردد که در نتیجه‌ی آن، هزینه‌های تولید افزایش یافته و عملکرد محصول به‌شدت کاهش می‌یابد. تحقیق بر روی عملکرد این دستگاه‌ها می‌تواند ضمن بهبود راندمان مصرف انرژی، صدمات وارد بر ساختمان خاک را کنترل نموده در نتیجه به پایداری فعالیت‌های کشاورزی کمک نماید. از این رو تحقیق حاضر سعی بر آن دارد تا با توجه به اهمیت موضوع، تأثیر این سه وسیله‌ی خاک‌ورز پس از شخم با گاوآهن برگردن‌دار را در رطوبت‌های مختلف بر برخی ویژگی‌های فیزیکی مهم خاک و پارامترهای عملکردی دستگاه در منطقه‌ی مازندران مورد ارزیابی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در یکی از مزارع در روستای کوکنده از توابع شهرستان جویبار، استان مازندران در سال ۱۳۹۰ اجرا گردید. از نظر آب و هوایی، منطقه دارای اقلیم مرطوب بود. مطالعه از نوع میدانی و مزرعه‌ای بود که پس از برداشت گندم انجام گرفت. قبل از انجام آزمایش‌ها، چند نمونه خاک از نقاط مختلف مزرعه از طریق نمونه‌برداری خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر، برای تعیین بافت خاک و حدود آتربرگ خاک تهیه گردید. بافت خاک مزرعه لوم رسی بود. حد روانی و خمیری آن (بر مبنای وزن خشک) به‌ترتیب برابر ۴۷/۹ و ۲۷/۸ درصد بود و در نتیجه شاخص خمیری خاک ۲۰/۱ درصد محاسبه گردید.

آزمایش به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. رطوبت خاک به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل: ۰/۲۵-۰/۲۳۶ درصد (۰/۸۵ تا ۰/۹۰ حد خمیری)، ۲۳/۶-۲۲/۲ درصد (۰/۸۰ تا ۰/۸۵ حد خمیری) و ۲۲/۲-۲۰/۸ درصد (۰/۷۵ تا ۰/۸۰ حد خمیری) بر مبنای وزن خشک و نوع وسیله‌ی خاک‌ورز به‌عنوان عامل فرعی در سه سطح شامل: هرس بشقابی (دو بار عمود بر هم)، سیکلوتیلر و روتیواتور بود. در مورد هرس بشقابی، تراکتور به‌صورت قطری حرکت می‌کرد به‌گونه‌ای که در امتداد یک قطر کرت، عمل رفت و در امتداد قطر دوم، عمل برگشت انجام می‌شد. نمونه‌ها از محل هم‌پوشانی این رفت و برگشت گرفته می‌شد. در عمل، به‌دلیل محدودیت در ابعاد کرت‌ها، امکان دو بار دیسک‌زنی به‌صورت کاملاً عمود بر هم وجود نداشت. پارامترهای اندازه‌گیری شامل: درجه‌ی خردشدگی خاک (قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها)، درجه‌ی سست‌شدگی خاک (با معیار چگالی ظاهری)، مصرف ویژه سوخت، بازده و ظرفیت ماشین بود. جهت انجام شخم اولیه از یک گاوآهن برگردان‌دار سه خیش متداول در منطقه در

رطوبت ۲۵/۰-۲۳/۶ درصد و با عمق شخم ۳۰ cm استفاده شد. عمق کار دستگاه‌های خاک‌ورز ثانویه ۱۵-۰ cm بود. مشخصات فنی هرس بشقابی مدل DTO28h (ساخت شرکت مهندسی ماشین‌گستر جویبار)، سیکلوتیلر و روتیواتور مورد آزمایش به‌ترتیب با مدل‌های MT 2000 و HIBM 70 D (ساخت شرکت تولید ادوات کشاورزی و دامداری هادی) در جدول ۱ آمده است. تمامی عملیات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه با استفاده از یک دستگاه تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ (تراکتور متداول منطقه) انجام گرفت (Ahmadi and Mollazade, 2009).

برای ایجاد سطوح رطوبت، چند روز پس از سوزانده شدن علف‌های هرز و بقایای گیاهی و سپس آبیاری غرقابی (Shiresmailie and Heidari Soltanabad, 2009) با خارج شدن زمین از حالت اشباع و نزدیک شدن به حد خمیری، از سه نقطه نمونه‌های رطوبت انتخاب شد. نمونه‌ی تر پس از توزین به‌مدت ۲۴ ساعت در درون آون با دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار می‌گرفت تا کاملاً خشک گردد (Gouran Oreymi and Keyhani, 2010). رطوبت خاک از رابطه‌ی (۱) به‌دست آمد.

$$MC = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \qquad (۱)$$

که در رابطه (۱)، MC رطوبت خاک بر مبنای خاک خشک برحسب درصد، m_1 وزن خاک تر برحسب گرم و m_2 وزن خاک خشک برحسب گرم می‌باشد. زمانی‌که رطوبت به محدوده‌ی ۲۵/۰-۲۳/۶ درصد، رسید شخم اولیه و نیز آزمایش‌های سطح رطوبتی اول انجام گرفت و پس از آن نمونه‌گیری رطوبت خاک ادامه یافت (Reshad Sedghi and Loghavi, 2009) (شکل ۱).

درجه خردشدگی خاک (قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها) به‌وسیله‌ی یک سری هشت‌تایی از الک‌ها (شکل ۲) با قطرهای ۸۸/۹۰، ۶۹/۸۵، ۶۳/۵۰، ۵۰/۸۰، ۳۱/۷۵، ۱۵/۸۸، ۷/۹۴ و ۶/۳۵ میلی‌متر تعیین شد (Ahmadi and Mollazade, 2009). نمونه‌های خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر از سه نقطه از هر کرت، جمع‌آوری گردیده و به مدت ۳۰ ثانیه بر روی الک‌ها تکان داده شد. قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها با استفاده از رابطه‌ی (۲) به‌دست آمد (Shiresmailie and Heidari Soltanabad, 2009).

$$M.W.D = \sum_{i=1}^{n} \frac{w_i}{w} D_i \qquad (۲)$$

که در رابطه (۲)، M.W.D قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها برحسب میلی‌متر، w_i وزن خاک روی هر الک برحسب گرم، w وزن کل نمونه خاک برحسب گرم و D_i قطر معادل کلوخه‌های روی هر الک (که برای الک دوم به بعد برابر با متوسط قطر الک مورد نظر و قطر الک بالایی آن) برحسب میلی‌متر می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات فنی دستگاه‌های مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Technical specifications of machines used in experiment

دستگاه Machine	طول Length (cm)	عرض کار Working width (cm)	ارتفاع Height (cm)	وزن Weight (kg)	تعداد ردیف تیغه یا بشقاب Blade or disk row numbers	تعداد تیغه یا بشقاب در هر ردیف Blade or disk numbers on each row	سرعت دورانی محور Rotary speed (rpm)
هرس بشقابی Disk harrow	370	270	120	820	4	7	-
سیکلوتیلر Power harrow	80	200	130	550	9	2	257
روتیواتور Rotary tiller	90	210	125	445	8	6	179

(a) (b)

شکل ۱- مزرعه‌ی آزمایشی؛ (a) پس از شخم اولیه، (b) پس از انجام آزمایش

Fig.1. Experimental field; (a) After primary plowing, (b) After experiment

شکل ۲- ابزار و تجهیزات اندازه‌گیری چگالی ظاهری، قطر کلوخه‌ها و مصرف سوخت

Fig.2. Measurement tools and equipments of bulk density, clod diameter and fuel consumption

چگالی ظاهری خاک با نمونه‌گیری توسط استوانه‌های مخصوص (شکل ۲) از عمق خاک‌ورزی ثانویه در هر کرت، تعیین گردید. چگالی ظاهری، پس از خشک کردن نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت، از تقسیم جرم خاک خشک بر حجم نمونه برحسب $g\ cm^{-3}$ به‌دست آمد (Arvidsson and Bolenius, 2006).

برای اندازه‌گیری مصرف سوخت تراکتور، ارتباط باک با پمپ اولیه قطع شد و در ابتدای هر کرت، درون یک ظرف پلاستیکی شفاف تا یک سطح مشخص، سوخت ریخته شد و توسط یک لوله‌ی رابط به پمپ اولیه وصل گردید (شکل ۲). بلافاصله پس از پایان آزمایش مربوطه، تراکتور خاموش شده و توسط یک سرنگ مدرج با دقت یک سی‌سی، مجدداً سطح سوخت درون ظرف به سطح اولیه می‌رسید (Hemmat and Asadi Khashoei, 1995). مصرف ویژه سوخت از رابطه‌ی (۳) به‌دست آمد.

$$S.F.C = \frac{10L}{A} \qquad (۳)$$

که در رابطه (۳)، S.F.C. مصرف ویژه سوخت برحسب لیتر بر هکتار، L میزان مصرف سوخت در هر کرت برحسب سی‌سی و A مساحت خاک‌ورزی شده در هر کرت برحسب مترمربع می‌باشد.

برای اندازه‌گیری بازده ماشین، در هر کرت دستگاه یک رفت و برگشت انجام می‌داد. زمان این رفت و برگشت، زمان کل و زمانی‌که دستگاه در حال خاک‌ورزی بود، زمان مفید در نظر گرفته شد. بازده ماشین از تقسیم زمان مفید به زمان کل محاسبه گردید. ظرفیت ماشین نیز با اندازه‌گیری ابعاد سطح خاک‌ورزی شده در هر کرت، از تقسیم مساحت خاک‌ورزی شده بر زمان مفید، بر حسب $ha\ h^{-1}$ محاسبه شد (Hemmat and Asadi Khashoei, 1995; Shiresmailie and Heidari Soltanabad, 2009).

تجزیه و تحلیل داده‌ها به دو روش: ۱) توصیفی و رسم جداول فراوانی و ۲) استنباطی پارامتریک یعنی روش تجزیه واریانس (ANOVA) و از طریق نرم افزار SAS و مقایسه مقادیر میانگین و برهم‌کنش پارامترها توسط نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد (Arvidsson and Bolenius, 2006).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌ی واریانس پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان داد که قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها تحت تأثیر نوع دستگاه و رطوبت خاک قرار نگرفت اما اثر تیمارها بر دیگر پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر هر یک از عوامل آزمایشی در جدول ۳ آمده است. در جدول‌های ۲ و ۳، یک نسبت K نیز آمده است که بعداً در مورد آن توضیح داده می‌شود. اثر نوع دستگاه و رطوبت خاک بر پارامترهای اندازه‌گیری در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شد.

در مورد هرس بشقابی، کلوخه‌های بزرگ‌تری به‌دست آمد اما تفاوت معنی‌داری نسبت به دو دستگاه دیگر نداشت. شاید علت این معنی‌دار نشدن، دو بار عمل دیسک‌زنی (برای رسیدن به سطح مناسب خردشدگی) بود. البته به‌دلیل ابعاد خاص کرت‌ها، عمل دیسک‌زنی کاملاً عمود بر هم انجام نشد و شاید در آن صورت کلوخه‌های کوچک‌تری به‌دست می‌آمد. طبق مشاهدات منطقه‌ای، می‌توان اذعان داشت که حتی دو بار عملیات هرس‌زنی کاملاً عمود بر هم نیز نمی‌تواند کلوخه‌هایی کوچک‌تر در مقایسه با روتیواتور و سیکلوتیلر به‌جای گذارد. در تحقیقی دیگر نیز بیشترین قطر کلوخه‌ها در خاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار به‌علاوه‌ی دو بار دیسک به‌دست آمد (Ozpinar and Cay, 2006). قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها تحت تأثیر رطوبت خاک قرار نگرفت (جدول ۳). در تحقیقی مشابه، تفاوت معنی‌دار نسبت به سطوح رطوبت گزارش گردید (Loghavi and Behnam, 1998).

جدول ۲- تجزیه‌ی واریانس پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها

Table 2- ANOVA of the measured parameters affected by the experiment factors and their interaction

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square					
		قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها Clod mean weight diameter (M.W.D)	چگالی ظاهری Bulk density (B.D)	مصرف ویژه سوخت Specific fuel consumption (S.F.C)	بازده ماشین Machine efficiency	ظرفیت ماشین Machine capacity	معیار K K Criterion
بلوک Block	2	47.74 ns	0.016 **	2.85 **	0.03100 **	0.0070 **	0.00009 **
نوع دستگاه (A) Machine type (A)	2	28.96 ns	0.080 **	21.67 **	0.00500 **	0.5520 **	0.00063 **
خطا (a) Error (a)	4	9.30	0.008	1.81	0.00800	0.0060	0.00006
رطوبت خاک (B) Soil moisture (B)	2	44.08 ns	0.085 **	6.67 **	0.00400 **	0.0290 **	0.00012 **
B × A	4	36.37 ns	0.000009 ns	1.78 **	0.00040 **	0.0080 **	0.00004 **
خطا (b) Error (b)	12	39.79	0.000600	0.18	0.00007	0.0003	0.000005
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	24.62	1.78	3.27	1.27	3.01	8.11

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

*, ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns Non. Significant

با افزایش رطوبت خاک مقادیر چگالی ظاهری در هر سه دستگاه ابتدا با شیبی تند و سپس با شیبی ملایم افزایش یافت. این مقادیر در تمامی سطوح رطوبتی، در روتیواتور بیشترین و در هرس بشقابی کمترین بود (شکل ۳ a). علت این امر احتمالاً مربوط به نوع مکانیزم خاک‌ورزی و برش خاک توسط این دستگاه‌ها بود. نوع برش خاک توسط بشقاب‌ها در هرس بشقابی به‌گونه‌ای است که خرد شدگی و در نتیجه درهم‌رفتگی کمتر می‌باشد (Reshad Sedghi and Loghavi, 2009) از این رو حداقل چگالی ظاهری در هرس بشقابی رخ داد. اما در مورد روتیواتور و سیکلوتیلر، به‌دلیل حرکت دورانی تیغه‌ها و نوع مکانیزم برش خاک، عملکردشان به‌گونه‌ای است که خردشدگی بیشتر و فضای خالی بین قطعات خاک بهتر پر می‌شود. این امر در خصوص روتیواتور به‌دلیل برخورد شدید کلوخه‌ها با درپوش انتهایی و بعضاً برگشت کلوخه‌ها به سمت تیغه‌ها و انباشت آن‌ها در پشت تیغه‌ها و خردشدگی بیشتر کلوخه‌ها، نمود بیشتری دارد و احتمالاً همین امر سبب بروز چگالی ظاهری بیشتر در روتیواتور شد. علت دیگر این امر احتمالاً به‌دلیل این بود که مزرعه، با توجه به عرف منطقه، ابتدا توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد سپس خاک‌ورزی ثانویه اجرا گردید. در واقع، شاید در مورد روتیواتور و سیکلوتیلر با توجه به فعال بودن این ادوات، دو بار عمل خاک‌ورزی منجر به خردشدگی بیشتر خاک شد. بنابراین روتیواتور به‌دلیل ایجاد نمودن بستری نرم‌تر، برای کشت بذرهای دانه‌ریز (مثل سبزیجات و چمن) توصیه می‌شود اما برای به‌دست آوردن دانه‌بندی درشت و تخلخل بیشتر (متداول در باغ‌ها و زیر درختان) استفاده از روتیواتور با درپوش بالا پیشنهاد می‌شود. پودر شدگی خاک‌دانه‌ها به واسطه اعمال تنش‌های اضافی به سطح خاک، یکی از نتایج نامطلوب کاربرد روتیواتور می‌باشد. بنابراین باید توجه داشت که استفاده توأم گاوآهن برگردان‌دار و روتیواتور به‌طور مکرر و در سالیان پیاپی که در منطقه مرسوم است می‌تواند منجر به پودر شدن بیش از حد خاک و احتمالاً اثر سوء بر ساختمان خاک گردد.

با افزایش رطوبت خاک از ۲۱/۵ درصد به ۲۴/۳ درصد، چگالی ظاهری خاک به‌میزان ۱۵/۳ درصد افزایش یافت و همان‌طور که انتظار می‌رفت با خشک شدن خاک، میزان خردشدگی کاهش یافت.

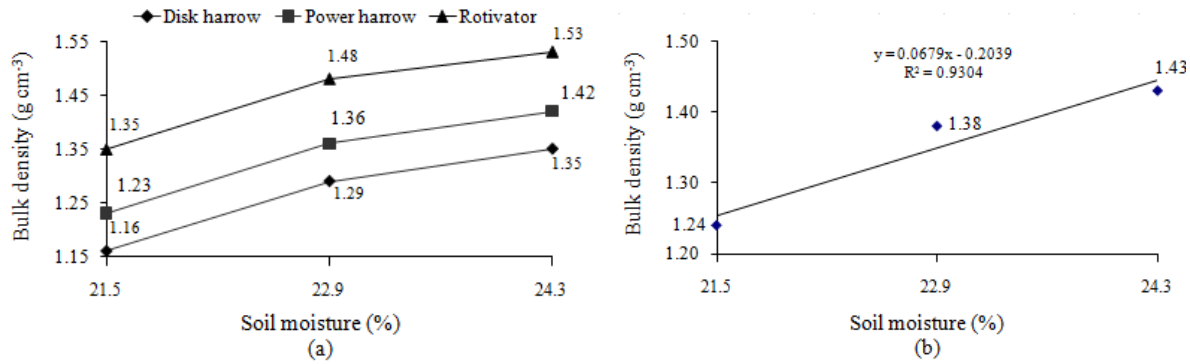
جدول ۳- مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری و معیار K تحت تأثیر تیمارها و برهم‌کنش آن‌ها *

Table 3- Mean comparison of the measured parameters and K criterion affected by the treatments and their interaction*

پارامتر اندازه‌گیری Measured parameter	رطوبت خاک بر مبنای وزن خشک (Soil moisture, d. b. weight) میانگین (Mean)	20.8-22.2%	22.2-23.6%	23.6-25.0%	نوع دستگاه Machine type
قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها Clod mean weight diameter (mm)	27.02 A	23.94 a	30.92 a	26.21 a	هرس بشقابی (Disk harrow)
	23.60 A	25.36 a	23.01 a	22.43 a	سیکلوتیلر (Power harrow)
	26.25 A	29.99 a	28.04 a	20.73 a	روتیواتور (Rotary tiller)
		26.43 A	27.32 A	23.12 A	میانگین (Mean)
بازده ماشین Machine efficiency	0.65 B	0.67 bc	0.64 d	0.64 d	هرس بشقابی (Disk harrow)
	0.63 C	0.67 bc	0.61 e	0.61 e	سیکلوتیلر (Power harrow)
	0.68 A	0.70 a	0.66 c	0.68 b	روتیواتور (Rotary tiller)
		0.68 A	0.64 B	0.64 B	میانگین (Mean)
ظرفیت ماشین Machine capacity (ha h^{-1})	0.42 B	0.39 e	0.43 d	0.44 cd	هرس بشقابی (Disk harrow)
	0.85 A	0.72 b	0.92 a	0.92 a	سیکلوتیلر (Power harrow)
	0.43 B	0.39 e	0.46 c	0.43 d	روتیواتور (Rotary tiller)
		0.50 B	0.60 A	0.60 A	میانگین (Mean)
معیار K K Criterion (ha h^{-1}).(ha lit^{-1})	0.021 C	0.019 d	0.023 cd	0.022 cd	هرس بشقابی (Disk harrow)
	0.037 A	0.029 b	0.041 a	0.042 a	سیکلوتیلر (Power harrow)
	0.025 B	0.023 cd	0.026 bc	0.025 bc	روتیواتور (Rotary tiller)
		0.024 B	0.030 A	0.030 A	میانگین (Mean)

* میانگین‌هایی که در هر عامل آزمایشی و در هر ردیف یا ستون در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

* Means of each experiment factor followed by the same letters in each row or column are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 5% level of probability.



شکل ۳- تأثیر رطوبت خاک بر؛ (a) چگالی ظاهری برای هر دستگاه، (b) چگالی ظاهری

Fig.3. Effects of soil moisture on; (a) Bulk density for each machin, (b) Bulk density

در واقع در رطوبت‌های پایین، ذرات خاک در اثر بالا بودن نیروهای همدوسی[1]، به هم چسبیده و منسجم بوده، مقاومت زیادی در برابر برش نشان می‌دهند اما با افزایش رطوبت، مولکول‌های آب خاصیت همدوسی را کاهش داده و خاصیت تردی و از هم‌پاشی را در خاک افزایش می‌دهند (Loghavi and Behnam, 1998). تحلیل‌های رگرسیونی نشان داد که با افزایش رطوبت خاک، چگالی ظاهری (شکل ۳ b) و ظرفیت ماشین (شکل ۵ b) به‌طور خطی به‌ترتیب با ضرایب تعیین ۰/۹۳۰ و ۰/۷۵۰ افزایش یافتند. در حالی‌که، مصرف ویژه سوخت (شکل ۴ b) و بازده ماشین (شکل ۵ a) به‌طور خطی به‌ترتیب با ضرایب تعیین ۰/۷۴۵ و ۰/۷۵۰ کاهش یافتند.

مصرف ویژه سوخت نسبت به تغییرات رطوبت، در هر دستگاه روندی متفاوت نسبت به دیگری داشت به‌گونه‌ای که با افزایش رطوبت، در سیکلوتیلر روندی کاهشی، در هرس بشقابی ابتدا کاهشی و سپس افزایشی و در روتیواتور ابتدا کاهشی و سپس روندی تقریباً

1- Cohesion force

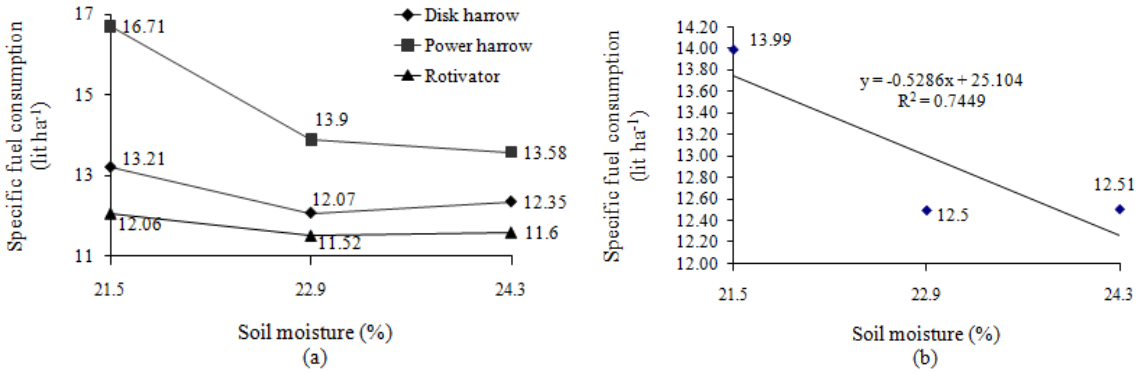
ثابت داشت. همچنین این مقادیر در تمامی سطوح رطوبتی، در سیکلوتیلر بیشترین و در روتیواتور کمترین بود (شکل ۴ a). علت این امر، احتمالاً به‌دلیل مقاومت کششی بالای سیکلوتیلر بود. گرچه سیکلوتیلر یک خاک‌ورز فعال است اما تیغه‌های آن با حرکت دورانی خود، کلوخه‌ها را در یک سطح افقی می‌چرخانند و این امر، کمکی به کاهش مقاومت کششی نکرد؛ ضمن این‌که حالت عمودی تیغه‌های سیکلوتیلر، به مانند مته عمل کرده و باعث مکش دستگاه به داخل خاک می‌گردید و تیرک پشت تیغه‌ها (تیرک کلوخه خردکن) مانع از نفوذ بیش از حد دستگاه می‌شد. با این وجود، سیکلوتیلر در عمقی بیشتر از دو دستگاه دیگر کار می‌کرد و این امر در بالا رفتن مقاومت کششی، بی‌تأثیر نبود. دلیل احتمالی دیگر برای مصرف سوخت بیشتر در سیکلوتیلر، دریافت انرژی از محور توان‌دهی تراکتور برای به گردش در آوردن تیغه‌ها بود. البته این امر در مورد روتیواتور نیز صادق است اما روتیواتور مزیت مقاومت کششی پایین را نسبت به سیکلوتیلر دارا بود. در واقع، در روتیواتور، نوع حرکت تیغه‌ها باعث گیرایی کامل دستگاه با خاک می‌شد به‌طوری‌که در اثر غلتش، نیاز کششی آن بسیار پایین بود و باعث هل دادن تراکتور به جلو (کشش منفی) و پدیده‌ی سرش نیز می‌گردید. در مورد روتیواتور، میزان مصرف سوخت در هر کرت در مقایسه با هرس بشقابی، بیشتر بود اما به‌دلیل برتری روتیواتور در سطح مؤثر خاک‌ورزی شده، مصرف ویژه سوخت در روتیواتور کاهش یافت.

با کاهش رطوبت، مصرف ویژه سوخت به اندازه‌ی ۱۱/۸ درصد افزایش یافت (شکل ۴ b). علت این امر به احتمال قوی به‌دلیل افزایش استحکام ذرات خاک ناشی از کاهش رطوبت (قوی‌تر شدن نیروی همدوسی بین ذرات) بود که نیاز به صرف انرژی بیشتری برای خرد کردن کلوخه‌ها داشت. مصرف ویژه سوخت در رطوبت ۲۴/۳ درصد، تنها ۰/۰۱ lit ha^{-1} نسبت به رطوبت ۲۲/۹ درصد، بیشتر بود و هر دو مقدار در یک کلاس آماری قرار گرفتند (شکل ۴ b).

بیشترین بازده ماشین برابر ۰/۶۸ در روتیواتور و کمترین مقدار آن برابر ۰/۶۳ در سیکلوتیلر بود. تابع بازده یک تابع دو متغیره برحسب زمان مفید و تلفات زمانی است. با افزایش زمان مفید و کاهش تلفات زمانی، مقدار این تابع افزایش می‌یابد. زمان مفید، هم در صورت و هم در مخرج بازده قرار دارد اما تلفات زمانی، تنها در مخرج این تابع است. بنابراین تغییرات بازده، بیشتر متأثر از تغییرات تلفات زمانی می‌باشد و تفاوت‌های بزرگ در زمان‌های مفید، منجر به تفاوت‌های بزرگ در بازده نمی‌گردد. از آنجا که در انتهای هر کرت، تراکتور می‌بایست در زمین شخم خورده اقدام به مانوردهی و دور زدن می‌نمود بنابراین احتمالاً شرایط ناهمواری‌ها و عدم یکنواختی اندازه‌ی کلوخه‌ها در اثر شخم اولیه، باعث بروز تفاوت در زمان‌های تلف شده در انتهای کرت‌ها گردید.

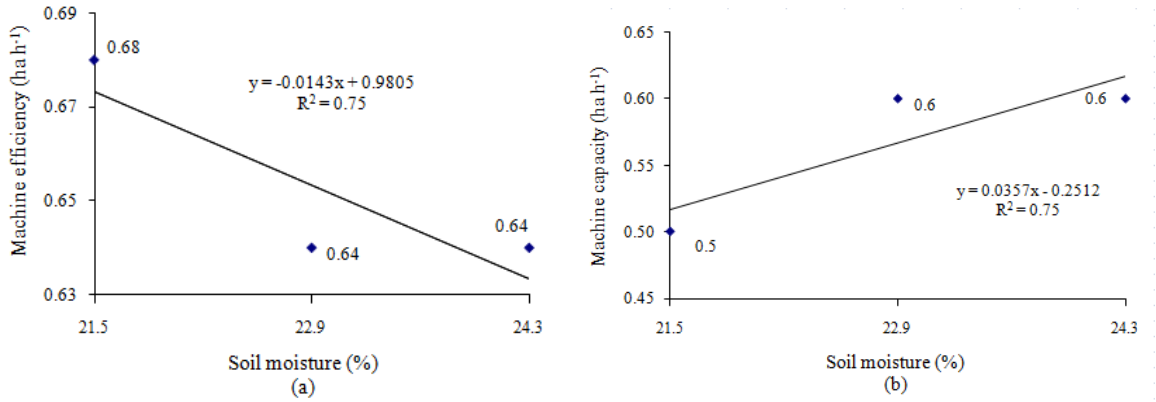
با افزایش رطوبت خاک، بازده ماشین کاهش و ظرفیت ماشین افزایش یافت (شکل ۵). تلفات زمانی شامل زمان‌های لازم برای دور زدن‌ها و غیره بوده که در این زمان‌ها دستگاه در حال کار نبود. از این رو، رطوبت خاک تأثیری بر روی تلفات زمانی نداشت بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش رطوبت، زمان کمتری برای خاک‌ورزی صرف شد و احتمالاً همین کاهش زمان مفید منجر به کاهش بازده و افزایش ظرفیت ماشین نسبت به افزایش رطوبت گردید.

بیشترین ظرفیت ماشین با ۰/۸۵ ha h^{-1} در سیکلوتیلر و کمترین مقدار آن با ۰/۴۲ ha h^{-1} در هرس بشقابی بود (جدول ۳). در مورد هرس بشقابی، با توجه به این‌که عمل هرس‌زنی دو بار انجام گردید بنابراین سطح خاک‌ورزی شده در شرایط زمانی یکسان در مقایسه با دو دستگاه دیگر، کمتر بود و همین امر منجر به کاهش ظرفیت ماشین در هرس شد. اما در مورد روتیواتور، با وجود این که عرض مؤثر آن اندکی بیشتر از سیکلوتیلر بود اما ظرفیت ماشین در آن تقریباً نصف سیکلوتیلر شد. بررسی داده‌های آزمایش نشان داد که علت این امر به‌دلیل بیشتر بودن زمان مفید در روتیواتور (تقریباً دو برابر سیکلوتیلر) بود.



شکل ٤– تأثیر رطوبت خاک بر؛ (a) مصرف ویژه سوخت برای هر دستگاه، (b) مصرف ویژه سوخت

Fig.4. Effects of soil moisture on; (a) S.F.C. for each machine, (b) S.F.C.



شکل ۵- تأثیر رطوبت خاک بر؛ (a) بازده ماشین، (b) ظرفیت ماشین

Fig.5. Effect of soil moisture on; (a) Machine efficiency, (b) Machine capacity

برهم‌کنش نوع دستگاه و رطوبت خاک از نظر آماری تأثیر معنی‌داری بر قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها و چگالی ظاهری نداشت اما تأثیر آن بر دیگر پارامترها در سطح یک درصد معنی‌دار بود. برای انتخاب ترکیب مناسب، معیارهای دو دیدگاه مورد توجه بود. یکی دیدگاه مربوط به خاک و اصلاح ساختار آن که در این تحقیق با معیارهای قطر کلوخه‌ها و چگالی ظاهری و دیگری، دیدگاه مربوط به دستگاه و تراکتور که با معیارهای مصرف ویژه سوخت، بازده و ظرفیت ماشین مد نظر قرار گرفتند. از دیدگاه خاک، عملکرد هر سه دستگاه در رطوبت‌های مختلف، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری بود. به‌عبارتی، خردشدگی خاک در تمام ترکیب‌ها، نزدیک به هم و مشابه یکدیگر بود. بنابراین، دیدگاه دوم (پارامترهای ماشین) تعیین کننده‌ی ترکیب مناسب بود. برای انتخاب ترکیب مناسب می‌بایست هر سه پارامتر عملکردی ماشین توأماً مورد توجه قرار گیرند و هر سه در انتخاب ترکیب مناسب، نقش داشته باشند. از این‌رو، معیار K (رابطه‌ی ۴) معرفی شد (Masoumi *et al.*, 2008). بازده و ظرفیت ماشین، هر چه بیشتر و مصرف ویژه سوخت، هر چه کمتر باشند مطلوب‌تر است از این‌رو هر چه نسبت K بزرگ‌تر باشد بهتر است.

$$K = \frac{M.E. \times M.C.}{S.F.C.} \qquad (۴)$$

که در رابطه (۴)، M.E. بازده ماشین و M.C. ظرفیت ماشین می‌باشد. نسبت K تحت تأثیر تیمارها و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲)، به‌طوری‌که با افزایش رطوبت خاک، نسبت K افزایش یافت. بنابراین، برای خاک‌ورزی ثانویه در این منطقه، رطوبت‌های بالاتر، مناسب‌تر است (جدول ۳). بیشترین و کمترین مقادیر K به‌ترتیب در سیکلوتیلر (K=۰/۰۳۷) و هرس بشقابی (K=۰/۰۲۱) به‌دست آمد. بنابراین، به‌جای هرس بشقابی و روتیواتور (ادوات متداول‌تر در منطقه)، استفاده از سیکلوتیلر به‌عنوان جایگزینی مناسب توصیه می‌گردد؛ به‌ویژه به‌جای هرس بشقابی که طی دو بار عملیات هرس‌زنی و در واقع دو بار تردد تراکتور در مزرعه و تراکم بیشتر خاک (Javadi and Hajiahmad, 2006)، از نظر کیفیت خاک‌ورزی در سطحی یکسان و از نظر پارامترهای ماشین در سطحی پایین‌تر نسبت به دو دستگاه دیگر قرار گرفت. مقادیر نسبت K برای ترکیب‌های سیکلوتیلر در رطوبت‌های ۲۲/۹ و ۲۴/۳ درصد، تفاوت معنی‌داری نداشتند. طبق نسبت K مناسب‌ترین ترکیب، ترکیب سیکلوتیلر و رطوبت ۲۴/۳ بود که در آن بیشترین مقدار برای نسبت K (K=۰/۰۴۲) به‌دست آمد. اما در شرایطی که نیاز به تأمین رطوبت خاک در زمین بکر از طریق آبیاری (نه از طریق بارندگی) باشد و یا محدودیت زمان کشت مطرح باشد، استفاده از ترکیب سیکلوتیلر در رطوبت ۲۲/۹ درصد، با اطمینان کافی از کارکرد مناسب دستگاه در این رطوبت (K=۰/۰۴۱) توصیه می‌گردد. در واقع، با فرض حداقل چگالی ظاهری در خاک شخم خورده (۱/۱۶ g cm^{-3}) که بدیهی است چگالی ظاهری خاک بکر، بیش از این مقدار است) و برای این‌که رطوبت خاک در یک هکتار فقط تا عمق ۱۰ سانتی‌متری، از ۲۲/۹ درصد به ۲۴/۳ درصد برسد، به بیش از ۱۶۰۰۰ لیتر آب جهت آبیاری (صرف نظر از تبخیر سطحی) نیاز است. شاید در نگاه اول برای منطقه‌ی شمال کشور، به‌دلیل بارندگی‌های فراوان، این امر چندان مهم جلوه ننماید اما باید توجه داشت که پس از برداشت گندم پاییزه در این منطقه، متداول است که در اوایل تابستان اقدام به کشت سویا، ذرت، آفتابگردان، سبزیجات و غیره می‌نمایند و این زمان مقارن با مراحل انتهایی رشد برنج می‌باشد. به‌عبارتی، سطح آب زیرزمینی به‌دلیل برداشت بیش از حد آب از مخزن به شدت پایین می‌رود و بسیاری از برنج‌کاران در این زمان با مشکل کم‌آبی و بعضاً خشکی مواجه می‌شوند؛ به‌ویژه در سال‌های اخیر که کشت ارقام پرمحصول برنج با دوره‌ی رشد طولانی‌تر نیز رواج یافته است. بنابراین ترکیب سیکلوتیلر در رطوبت ۲۲/۹ درصد در شرایط ذکر شده، مناسب‌تر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تأثیر رطوبت و نوع ماشین خاک‌ورزی ثانویه و برهم‌کنش آن‌ها بر مصرف ویژه سوخت، بازده و ظرفیت ماشین و نیز اثر نوع دستگاه و رطوبت خاک بر چگالی ظاهری معنی‌دار بود ($P<0/01$). روتیواتور و سیکلوتیلر، به‌دلیل حرکت دورانی تیغه‌ها و نوع مکانیزم برش خاک با یک بار عبور، خردشدگی مشابه با دو بار عبور دیسک را تولید نمودند. بیشترین چگالی ظاهری (بستر فشرده) و بازده ماشین با روتیواتور و بیشترین مصرف ویژه سوخت و ظرفیت ماشین با سیکلوتیلر حاصل شد. با کاهش رطوبت، چگالی ظاهری به اندازه‌ی ۱۵/۳ درصد و مصرف ویژه سوخت به اندازه‌ی ۱۱/۸ درصد به‌ترتیب کاهش و افزایش یافتند. مناسب‌ترین ترکیب‌ها، سیکلوتیلر در رطوبت‌های ۲۲/۹ و ۲۴/۳ درصد بود اما در شرایط کم‌آبی و یا محدودیت زمان کشت، ترکیب سیکلوتیلر و رطوبت ۲۲/۹ درصد توصیه می‌گردد. روتیواتور به‌دلیل ایجاد بستری نرم‌تر، برای کشت بذرهای دانه‌ریز توصیه می‌شود. استفاده از هرس بشقابی به‌دلیل تردد بیشتر تراکتور در مزرعه و مسائل تراکم خاک، با توجه به این‌که از لحاظ کیفیت خاک‌ورزی و نیز پارامترهای ماشین مزیتی نسبت به دو دستگاه دیگر نداشت، شاید گزینه‌ی چندان مناسبی برای منطقه‌ی مذکور نباشد.

سپاسگزاری

از ریاست محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار به‌دلیل حمایت مالی این طرح، از جناب آقای محمد چلنگری، ریاست محترم شرکت تولید ادوات کشاورزی و دامداری هادی و از جناب آقای محسن چلنگری، ریاست محترم شرکت مهندسی ماشین‌گستر جویبار به‌خاطر در اختیار نهادن دستگاه‌ها و اطلاعات تجربی، بی‌نهایت سپاسگزاریم.

منابع

1. Ahmadi, H., and K. Mollazade. 2009. Effect of plowing depth and soil moisture content on reduced secondary tillage. Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal. Manuscript MES 1195, Vol. XI.
2. Akef, M., and I. Bagheri. 1999. Soil management and effects of agricultural machines on soil physical properties. Guilan University Press, Rasht, Guilan. (In Farsi).
3. Arvidsson, J., and E. Bolenius. 2006. Effects of soil water content during primary tillage – laser measurements of soil surface changes. Soil and Tillage Research 90: 222-229.
4. ASAE Standard. 2005. Terminology and Definitions for Agricultural Tillage Implements. ASAE. S.414.1.
5. Baghban Kheibari, M., H. R. Ghassemzadeh, S. Abdollahpour, A. Mahdinia, and M. Valizadeh. 2008. Comparison of effects of power harrow and tandem disk harrow performance on dry soils of Khorasan region. The 5th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Farsi).
6. Berntsen, R., and B. Berre. 2002. Soil fragmentation and the efficiency of tillage implements. Soil and Tillage Research 64: 137-147.
7. Chang, C., and C. W. Lindwall. 1990. Comparison of the effect of long term tillage and crop rotation on physical properties of a soil. Canadian Agriculture Engineering 32: 53-55.
8. Gouran Oreymi, M., and A. R. Keyhani. 2010. Effects of tractor velocity and soil moisture content on drive wheel slippage of tractor. The 6th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. College of Agriculture and Natural Resources of University Of Tehran, Karaj, Iran. (In Farsi).
9. Hemmat, A., and A. Asadi Khashoei. 1995. Fuel requirements and machine capacity for tillage and planting operations on a clay loam soil in Isfahan. Iran Agricultural Research 14 (2): 175-201.
10. Jacobs, C. O., and W. R. Harrel. 1983. Agricultural power and machinery. McGraw Hill Book Co. New York.
11. Javadi, A., and A. Hajiahmad. 2006. Effect of a new combined implement for reducing secondary tillage operation. International Journal of Agriculture and Biology 8 (6): 724-727.
12. Loghavi, M., and S. Behnam. 1998. Effects of soil moisture and tillage depth on disk plow performance of a clay loam soil. Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 2 (4): 105-117. (In Farsi).
13. Masoumi, A. A., A. Hemmat, and M. Rajabi. 2008. Effects of share rake angle and frequency of vibration on performance of vibrating sugarbeet lifter. Water and Soil Science (Journal of Science and

Technology of Agriculture and Natural Resources) 12 (44): 233-244. (In Farsi).
14. Nasr, H. M., and F. Selles. 1995. Seedling emergence as influenced by aggregate size, bulk density and penetration resistance of the seedbed. Soil and Tillage Research 34: 61-67.
15. Ozpinar, S., and A. Cay. 2006. Effects of different tillage systems on the quality and crop productivity of a clay-loam soil in semi-arid north-western Turkey. Soil and Tillage Research 88 (1-2): 95-106.
16. Reshad Sedghi, A., and M. Loghavi. 2009. The effect of soil moisture content (in primary tillage) and travel speed during disking operation on performance of disk harrow as a secondary tillage tool. Iranian Journal of Biosystems Engineering (Iranian Journal of Agricultural Sciences) 40 (2): 131-138.
17. Rouzbeh, M., M. Almasi, and A. Hemmat. 2002. Evaluation and comparison of energy requirements in different tillage methods for corn production. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 9 (1): 117-128. (In Farsi).
18. Shir Esmailie, Gh. H., and M. Heidari Soltanabad. 2009. Effect of tillage systems and seeding rates on machinery parameters and grain yield in rapeseed (*Brassicanapus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 11 (3): 223-236. (In Farsi).
19. Yaseen, H., Al. Tahan, H. M. Hassan, and I. A. Hammadi. 1992. Effects of plowing depth using different plow type on some physical properties of soil. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America 23 (4): 21-24.