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

مجید رجبی وندچالی[1*]، عباس همت[2] و عباس قنبری مالیدره[1]

۱- به ترتیب، مربی گروه مکانیک و استادیار گروه زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار mrajabi_v2010@yahoo.com

۲- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

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 به شدت تحت تاثیر قرار داده و باعث تخریب ساختمان خاک می‌گردد. از این رو به منظور مقایسه عملکرد سه نوع دستگاه خاک‌ورز ثانویه، آزمایشی در یکی از مزارع گندم شهرستان جویبار به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. رطوبت خاک به عنوان 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 به عنوان عامل فرعی نیز در سه سطح (هرس بشقابی دو بار عمود بر هم، سیکلوتیلر و روتیواتور) بود. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل: قطر متوسط وزنی کلوخه-ها، چگالی ظاهری خاک، مصرف ویژه سوخت ، بازده و ظرفیت ماشین بودند. تاثیر 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 ($P<۰/۰۱$). با کاهش رطوبت، چگالی ظاهری ۱۵/۳ درصد کاهش، مصرف ویژه سوخت ۱۱/۸ درصد افزایش، اما بازده و ظرفیت ماشین، به ترتیب افزایش و کاهش یافتند. بیش‌ترین چگالی ظاهری و بازده‌ی ماشین با روتیواتور و بیش‌ترین مصرف ویژه سوخت و ظرفیت ماشین با سیکلوتیلر حاصل شد. برای انتخاب ترکیب مناسب، معیاری معرفی شد که بر اساس آن، مناسب‌ترین ترکیب، سیکلوتیلر و رطوبت خاک ۲۴/۳ درصد (بر مبنای وزن خشک) بود.

واژه های کلیدی: انرژی، خواص فیزیکی خاک، دستگاه خاک‌ورز ثانویه، رطوبت خاک، مصرف ویژه سوخت.

مقدمه

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) به طوری که هر چه مقدار آن کاهش یابد، متوسط ابعاد خاکدانه‌ها نیزکاهش می یابد. چگالی ظاهری خاک در میزان نفوذ آب به خاک و رشد ریشه‌های گیاه موثر است. افزایش قطر کلوخه‌ها و چگالی ظاهری خاک باعث کاهش سبز شدن گیاهچه می‌شود (Nasr and selles, 1995). 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 معنی دار 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 به دلیل خاک‌ورزی، با چندین عامل در ارتباط است که عبارتند از: نوع خاک، نوع وسیله‌ی خاک-ورزی، عمق خاک‌ورزی، شرایط خاک نظیر رطوبت و شرایط 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 به طور معنی-داری تغییر دهد (Javadi and Hajiahmad, 2006). علاوه بر هرس‌های بشقابی، از ادوات خاک ورز دوار برای عملیات خاک-ورزی ثانویه نیز استفاده می‌شود (ASAE Standard, 2005). استفاده از روتیواتورها در باغات و شالیزارها به صورت 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 به طور کلی تحقیقات روی ادوات دوار محور عمودی بسیار اندک است (Baghban Kheibari *et al.*, 2008).

تهیه بستر مناسب بذر از جمله عوامل موثر بر افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و کاهش هزینه‌های تولید است. پارامترهای عملکردی دستگاه خاک‌ورز از جمله بازده‌ی ماشین، زمان انجام کار و مصرف سوخت، تحت تاثیر نوع وسیله‌ی خاک‌ورز است (Hemmat and Asadi Khashoei, 1995). امروزه که بحران مصرف انرژی بیش‌تر دامن‌گیر بشر شده است، بیش-ترین تلاش‌ها به انتخاب ادوات مناسب‌تر، استفاده موثرتر 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 به کارگیری روش‌های کم‌خاک‌ورزی، از جمله عواملی هستند که می‌توانند سبب کاهش انرژی مصرفی و آلودگی محیط زیست گردند (Rouzbeh *et al.*, 2002).

در منطقه شمال کشور بخصوص 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 می-گردد. میزان رضایت‌مندی کشاورزان از این ادوات کاملاً متفاوت بوده به گونه‌ای 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 به شدت تحت تاثیر قرار داده و باعث تخریب ساختمان خاک گردد. از این رو تحقیق حاضر سعی بر آن دارد تا با توجه به اهمیت موضوع، تاثیر این سه وسیله‌ی خاک‌ورز پس از شخم با گاوآهن برگردن دار 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 آزمایشات، چند نمونه خاک از نقاط مختلف مزرعه از طریق نمونه برداری 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) به ترتیب برابر ۴۷/۹ و ۲۷/۸ درصد بود و در نتیجه شاخص خمیری خاک ۲۰/۱ درصد محاسبه گردید.

آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. رطوبت خاک به عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل: ۲۵/۰-۲۳/۶ 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 به عنوان عامل فرعی در سه سطح شامل: هرس بشقابی (دو بار عمود بر هم)، سیکلوتیلر و روتیواتور بود. در مورد هرس بشقابی، تراکتور به صورت قطری حرکت می‌کرد به گونه‌ای 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، به دلیل محدودیت در ابعاد کرت‌ها، امکان دو بار دیسک‌زنی به صورت 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 cm-۰ بود. مشخصات فنی هرس بشقابی مدل DTO28h (ساخت شرکت مهندسی ماشین‌گستر جویبار)، سیکلوتیلر و روتیواتور مورد آزمایش به ترتیب با مدل‌های MT 2000 و HIBM 70 D (ساخت شرکت تولید ادوات کشاورزی و دامداری هادی) در جدل 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 به مدت 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) به دست آمد:

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

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

جدول ۱. مشخصات فنی دستگاه‌های مورد استفاده در آزمایش.

دستگاه	طول (سانتی‌متر)	عرض کار (سانتی‌متر)	ارتفاع (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	تعداد ردیف تیغه یا بشقاب	تعداد تیغه یا بشقاب در هر ردیف	سرعت دورانی محور (دور بر دقیقه)
هرس بشقابی	370	270	120	820	4	7	-
سیکلوتیلر	80	200	130	550	9	2	257
روتیواتور	90	210	125	445	8	6	179

درجه خردشدگی خاک (قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها) به وسیله‌ی 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;).

شکل ۱. مزرعه‌ی آزمایشی پس از شخم اولیه (سمت چپ) و پس از انجام آزمایش (سمت راست).

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

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 بر حسب $g.cm^{-3}$ به دست 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 (۲) به دست آمد:

$$S.F.C. = \frac{10L}{A} \qquad (۲)$$

که در آن، $S.F.C.$ مصرف ویژه سوخت بر حسب لیتر بر هکتار، L میزان مصرف سوخت در هر کرت بر حسب سی‌سی و A مساحت خاک‌ورزی شده در هر کرت بر حسب مترمربع می‌باشد.

برای اندازه‌گیری بازده‌ی ماشین، در هر کرت دستگاه یک رفت و برگشت انجام می‌داد. زمان این رفت و برگشت، زمان کل و زمانی که 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 از طریق نرم‌افزار SAS و مقایسه مقادیر میانگین پارامترها توسط نرم‌افزار MSTATC (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 تاثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان داد که قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها تحت تاثیر نوع دستگاه و رطوبت خاک قرار نگرفت اما اثر تیمارها بر دیگر پارامترهای اندازه-گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تاثیر 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 به دست 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 به دلیل ابعاد خاص کرت‌ها، عمل دیسک‌زنی کاملاً عمود بر هم انجام نشد و شاید در آن صورت کلوخه‌های کوچک‌تری به دست 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 به جای گذارد. در تحقیقی دیگر نیز بیش‌ترین قطر کلوخه‌ها در خاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار به

علاوه‌ی دو بار دیسک به دست آمد (Ozpinar and Cay, 2006). قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها تحت تاثیر 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 تاثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها	چگالی ظاهری	مصرف ویژه سوخت	بازده‌ی ماشین	ظرفیت ماشین	معیار K
بلوک	2	47.74 ^{ns}	0.016 **	2.85 **	0.031 **	0.007 **	0.00009 **
نوع دستگاه (A)	2	28.96 ^{ns}	0.08 **	21.67 **	0.005 **	0.552 **	0.00063 **
خطا (a)	4	9.3	0.008	1.81	0.008	0.006	0.00006
رطوبت خاک (B)	2	44.08 ^{ns}	0.085 **	6.67 **	0.004 **	0.029 **	0.00012 **
B × A	4	36.37 ^{ns}	0.000009 ^{ns}	1.78 **	0.0004 **	0.008 **	0.00004 **
خطا (b)	12	39.79	0.0006	0.18	0.00007	0.0003	0.000005
ضریب تغییرات	-	24.62	1.78	3.27	1.27	3.01	8.11

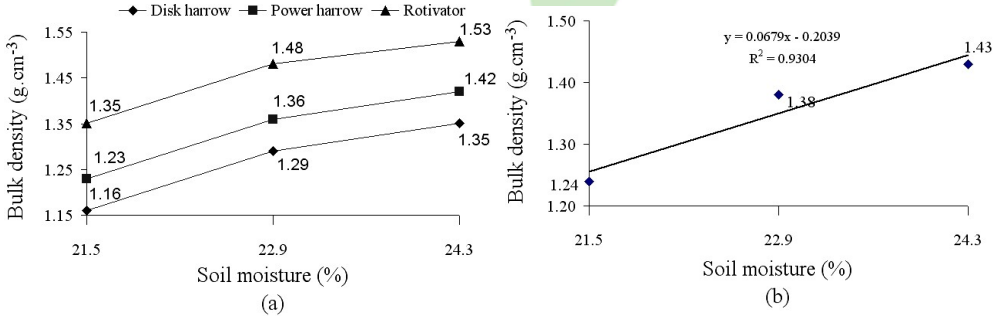
** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد.

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 a-۳). علت این امر احتمالاً مربوط به نوع مکانیزم خاک‌ورزی و برش خاک توسط این دستگاه‌ها بود. نوع برش خاک توسط بشقاب‌ها در هرس بشقابی به گونه‌ای است که خرد شدگی و در نتیجه توهم‌رفتگی کم‌تر می‌باشد (Reshad sedghi and Loghavi, 2009) از این رو حداقل چگالی ظاهری در هرس بشقابی رخ داد. اما در مورد روتیواتور و سیکلوتیلر، به دلیل حرکت دورانی تیغه‌ها و نوع مکانیزم برش خاک، عملکردشان به گونه‌ای است که خردشدگی بیش‌تر و فضای خالی بین قطعات خاک بهتر پر می‌شود. این امر در خصوص روتیواتور به دلیل 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 به این دلیل 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 به دلیل ایجاد نمودن بستری نرم‌تر، برای کشت بذرهای دانه‌ریز (مثل سبزیجات و چمن) توصیه می‌شود اما برای به دست آوردن دانه‌بندی درشت و تخلخل بیش‌تر (متداول در باغ‌ها و زیر درختان) استفاده از روتیواتور با درپوش بالا پیشنهاد می‌شود. پودر شدگی خاک‌دانه ها به واسطه اعمال تنش‌های اضافی به سطح خاک، یکی از نتایج نامطلوب کاربرد روتیواتور می باشد. بنابراین باید توجه داشت که استفاده توأم گاوآهن برگردان‌دار و روتیواتور به طور مکرر و در سالیان پیاپی که در منطقه مرسوم است می تواند منجر به پودر شدن بیش از حد خاک و احتمالاً اثر سوء بر ساختمان خاک گردد.

جدول ۳. مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری و معیار K تحت تاثیر تیمارها و برهم‌کنش آن‌ها*.

پارامتر اندازه‌گیری	رطوبت خاک بر مبنای وزن خشک				نوع دستگاه
	میانگین	20.8-22.2%	22.2-23.6%	23.6-25.0%	
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)
بازده‌ی 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)

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

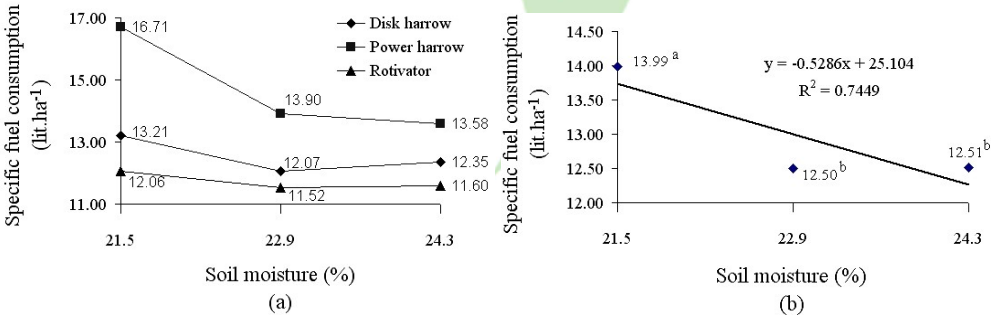


شکل ۳. تاثیر رطوبت خاک بر (a) چگالی ظاهری برای هر دستگاه و (b) چگالی ظاهری.

با افزایش رطوبت خاک از ۲۱/۵ درصد به ۲۴/۳ درصد، چگالی ظاهری خاک به میزان ۱۵/۳ درصد افزایش یافت و همان‌طور که انتظار می‌رفت با خشک شدن خاک، میزان خردشدگی کاهش یافت. 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 b–۳) و ظرفیت ماشین (شکل b–۵) به طور خطی به ترتیب با ضرایب تعیین ۰/۹۳۰ و ۰/۷۵۰ افزایش یافتند. در حالی که، مصرف ویژه سوخت (شکل b–۴) و بازده‌ی ماشین (شکل a–۵) به طور خطی به ترتیب با ضرائب تعیین ۰/۷۴۵ و ۰/۷۵۰ کاهش یافتند.

مصرف ویژه سوخت نسبت به تغییرات رطوبت، در هر دستگاه روندی متفاوت نسبت به دیگری داشت به گونه‌ای 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 ثابت داشت. هم‌چنین این مقادیر در تمامی سطوح رطوبتی، در سیکلوتیلر بیش‌ترین و در روتیواتور کم‌ترین بود (شکل a–۴). علت این امر، احتمالاً به دلیل مقاومت کششی بالای سیکلوتیلر بود. گرچه سیکلوتیلر یک خاک‌ورز فعال است اما تیغه‌های آن با حرکت دورانی خود، کلوخه‌ها را در یک سطح افقی می چرخانند و این امر، کمکی به کاهش مقاومت کششی نکرد؛ ضمن این که 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، بی تاثیر 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 تیغه ها باعث گیرایی کامل دستگاه با خاک می‌شد به طوری که 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 به دلیل برتری روتیواتور در سطح موثر خاک‌ورزی شده، مصرف ویژه سوخت در روتیواتور کاهش یافت.



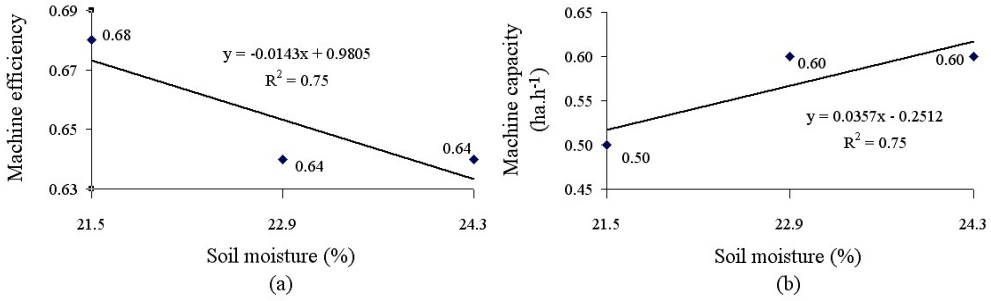
شکل ۴. تاثیر رطوبت خاک بر (a) مصرف ویژه سوخت برای هر دستگاه و (b) مصرف ویژه سوخت.

با کاهش رطوبت، مصرف ویژه سوخت به اندازه‌ی ۱۱/۸ درصد افزایش یافت (شکل b–۴). علت این امر به احتمال قوی به دلیل

1- Cohesion force

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 $0/01$ $lit.ha^{-1}$ نسبت به رطوبت ۲۲/۹ درصد، بیش‌تر بود و هر دو مقدار در یک کلاس آماری قرار گرفتند (شکل b–۴).

بیش‌ترین بازده‌ی ماشین برابر ۰/۶۸ در روتیواتور و کم‌ترین مقدار آن برابر ۰/۶۳ در سیکلوتیلر بود. تابع بازده یک تابع دو متغیره بر حسب 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 متاثر از تغییرات تلفات زمانی می‌باشد و تفاوت‌های بزرگ در زمان‌های مفید، منجر به تفاوت‌های بزرگ در بازده نمی‌گردد. از آن جا 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.



شکل ۵. تاثیر رطوبت خاک بر (a) بازده‌ی ماشین و (b) ظرفیت ماشین.

با افزایش رطوبت خاک، بازده‌ی 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 تاثیری 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 $0/85$ $ha.h^{-1}$ در سیکلوتیلر و کم‌ترین مقدار آن با $0/42$ $ha.h^{-1}$ در هرس بشقابی بود (جدول ۳). در مورد هرس بشقابی، با توجه به این که 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 موثر آن اندکی بیش‌تر از سیکلوتیلر بود اما ظرفیت ماشین در آن تقریباً نصف سیکلوتیلر شد. بررسی داده‌های آزمایش نشان داد که علت این امر به دلیل بیش‌تر بودن زمان مفید در روتیواتور (تقریباً دو برابر سیکلوتیلر) بود.

برهم‌کنش نوع دستگاه و رطوبت خاک از نظر آماری تاثیر معنی‌داری بر قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها و چگالی ظاهری نداشت اما تاثیر 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 مدنظر قرار گرفتند. از دیدگاه خاک، عملکرد هر سه دستگاه در رطوبت‌های مختلف، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری بود. به عبارتی، 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 این رو، معیار K (رابطه‌ی ۳) معرفی شد (Masoumi *et al.*, 2008). بازده و ظرفیت ماشین، هر چه بیش‌تر و مصرف ویژه سوخت ، هر چه کم‌تر باشند مطلوب‌تر است از این رو هر چه نسبت K بزرگ‌تر باشد بهتر است.

$$K = \frac{M.E. \times M.C.}{S.F.C.} \qquad (۳)$$

که در آن، $M.E.$ بازده‌ی ماشین و $M.C.$ ظرفیت ماشین می‌باشد. نسبت K تحت تاثیر تیمارها و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲) به طوری که 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 به ترتیب در سیکلوتیلر (K=۰/۰۳۷) و هرس بشقابی (K=۰/۰۲۱) به دست آمد. بنابراین، به جای هرس بشقابی و روتیواتور (ادوات متداول‌تر در منطقه)، استفاده از سیکلوتیلر، به عنوان جایگزینی مناسب، توصیه می‌گردد؛ به ویژه به جای 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) به دست آمد اما در شرایطی که نیاز به تامین 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 این که 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، به دلیل 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. به عبارتی، سطح آب زیرزمینی به دلیل 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؛ به ویژه 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

تاثیر رطوبت و نوع ماشین خاک ورزی 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 ($P<۰/۰۱$). روتیواتور و سیکلوتیلر، به دلیل 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 بازده‌ی 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 به ترتیب 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 به دلیل ایجاد بستری نرم‌تر، برای کشت بذرهای دانه‌ریز توصیه می‌شود. استفاده از هرس بشقابی به دلیل تردد بیش‌تر تراکتور در مزرعه و مسائل تراکم خاک، با توجه به این که 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 به دلیل 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 به خاطر در اختیار نهادن دستگاه‌ها و اطلاعات تجربی، بی نهایت 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 (Translation). 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 Agr. Machinery Eng. & Mechanization. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Farsi).

6- 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.

7- 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 Agr. Machinery Eng. & Mechanization. College of Agriculture & Natural Resources of University Of Tehran, Karaj, Iran. (In Farsi).

8- 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.

9- 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.

10- Loghavi, M., and S. Behnam. 1998. Effects of Soil Mois and Tillage Depth on Disk Plow Performance o a Clay Loam Soil. Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 2(4): 105-117. (In Farsi).

11- Masoumi, A. A., A. Hemmat, and M. Rajabi. 2008. Effects of Share Rak 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).

12- 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.

13- 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.

14- 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.

15- 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).

16- Shiresmailie, Gh., and M. Heidari Soltanabad. 2009. Effect of tillage systems and seeding rates on machinery parameters and grain yield in rapeseed (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 11(3): 223-236. (In Farsi).

Field Performance of the Disk Harrow, Power Harrow and Rotary tiller at Different Soil Moisture Contents on a Clay Loam Soil in Mazandaran

Majid Rajabi Vandechali[1*] Abbas Hemmat[2] and Abbas Ghanbari Malidarreh[1]

1- Instructor and Assistant Professor, Department of Mechanic and Agronomy, Islamic Azad University of Jouybar, Respectively. mrajabi_v2010@yahoo.com
2- Professor, Mechanics of Agricultural Engineering, Isfahan University of Technology, Iran

Abstract

About 60% of the mechanical energy consumed in the mechanized agriculture is used for the tillage operations and the preparation of seedbed. Moreover, unsuitable tillage system resulted in soil degradation, affecting soil physical properties and destroying soil structure. The objective of this research was to compare the effects of three types of secondary tillage machines on **some** soil physical properties and their field performances. An experiment was carried out as split plots based on randomized complete block design with three replications in one of the wheat farms in Jouybar area of Mazandaran. The main plot was soil moisture with three levels (23.6-25, 22.2-23.6 and 20.8-22.2 percent based on dry weight) and the subplot was also type of machine with three levels (2 disk harrow passes perpendicularly, Power harrow and Rotary tiller). The measured parameters consist of clod mean weight diameter, soil bulk density, specific fuel consumption, machine efficiency and machine capacity. The effects of the treatments and interaction on the specific fuel consumption, machine efficiency and machine capacity and also the effects of the treatments on bulk density were significant (P<0.01). The bulk density decreased 15.3%, the specific fuel consumption increased 11.8%, whereas the machine efficiency and machine capacity increased and decreased with decrease in soil moisture, respectively. The maximum value of the bulk density and machine efficiency were obtained by use of rotary tiller and the maximum value of the specific fuel consumption and machine capacity were obtained by use of power harrow. A criterion was defined for selecting machine type and moisture content for optimum condition. The results suggested power harrow working at soil moisture condition of 24.3% (based on dry weight).

Keywords: Energy, Soil physical properties, Secondary tillage machinery, Soil moisture, Specific fuel consumption.