

## آزمون و ارزیابی یک نوع خاک‌همزن دوار با تیغه‌های مثلثی لبه مضرسی

حسین غلامی<sup>۱</sup> - داود کلاتری<sup>۲\*</sup> - مجید رجبی وندچالی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۱

### چکیده

اخیراً استفاده از روتوتیلرها در باغات و مزارع کوچک به‌ویژه در مناطق شمالی کشور گسترش پیدا کرده است که به دلیل استفاده از تیغه‌های L شکل دارای مشکلات فراوانی هستند. از این رو در کار تحقیقاتی حاضر به طراحی، ساخت و آزمون یک خاک‌همزن با تیغه‌های مثلثی لبه مضرسی مناسب برای باغ‌ها و مزارع کوچک پرداخته شد. آزمایش در یکی از باغ‌های مرکبات شهرستان ساری به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. رطوبت خاک بر مبنای وزن خشک به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح بالا و پایین (۲۱/۹-۳۰/۳ و ۲۱/۹ درصد) و سرعت دورانی محور تیغه‌ها به‌عنوان عامل فرعی در سه سطح (۱۷۰-۱۴۰، ۲۰۰-۱۷۰ و ۲۳۰-۲۰۰ دور بر دقیقه) انتخاب گردید. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل قطر متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری خاک، درصد خرد شدن خاک، مصرف ویژه سوخت و بازده ماشین بودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که اثر رطوبت خاک و سرعت دورانی تیغه‌ها بر قطر متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها، درصد خرد شدن خاک، مصرف ویژه سوخت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برای دستیابی به دانه‌بندی ریز، سرعت دورانی ۲۳۰-۲۰۰ دور بر دقیقه و رطوبت خاک ۳۰/۳-۲۱/۹ درصد و برای به‌دست آوردن دانه‌بندی درشت خاک، سرعت دورانی ۱۷۰-۱۴۰ دور بر دقیقه و رطوبت خاک ۲۱/۹-۱۳/۵ درصد توصیه می‌گردد. با کاهش سرعت دورانی از دور زیاد به دور متوسط، به مقدار ۱۶/۷۱ لیتر بر هکتار در مصرف سوخت صرفه‌جویی گردید.

واژه‌های کلیدی: تیغه مضرسی، روتوتیلر، قطر خاک‌دانه‌ها، مصرف ویژه سوخت

### مقدمه

داد که تغییرات خواص خاک به دلیل خاک‌ورزی، با چندین عامل در ارتباط است که عبارتند از: نوع خاک، نوع وسیله خاک‌ورزی، عمق خاک‌ورزی، شرایط خاک نظیر محتوای رطوبت در زمان خاک‌ورزی و شرایط اقلیمی (Chang and Lindwall, 1990). امروزه استفاده از خاک‌همزن به دلیل ساختار ساده و کارایی بالا در عملیات خاک‌ورزی افزایش یافته است. با بهره‌گیری از خاک‌همزن می‌توان عملیات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه را در یک مرحله انجام داد (Topakci et al., 2008). اما استفاده از خاک‌همزن‌های کوچک باغی، به دلیل سهولت کاربرد و کارایی بالاتر نسبت به خاک‌همزن‌های پشت تراکتوری، در باغات و شالیزارها به‌صورت روزافزونی مورد استقبال قرار گرفته است. در عملیات سبزی‌کاری و صیفی‌کاری، آماده‌سازی خاک شرایط متفاوتی نسبت به دیگر محصولات زراعی می‌طلبد. عمق آماده‌سازی بستر بذر برای این محصولات معمولاً ۵-۲ cm است و دانه‌بندی ریز خاک مورد نیاز می‌باشد. در این شرایط می‌توان خاک را با خاک‌همزن‌های کوچک آماده کرد (Tabatabae Kolor and Kiani, 2006). بررسی‌های مختلفی بر روی کارکرد خاک‌همزن‌ها در راستای استفاده بهینه و مطلوب از این دستگاه جهت کاهش مصرف توان و بهبود فرآیند خاک‌ورزی صورت گرفته است (Shir Esmailie

مطالعات در مورد فرآیند خاک‌ورزی شامل بررسی میزان کارآمدی ادوات، توصیف رفتار خاک، عوامل مؤثر بر کارکرد بهینه ادوات خاک‌ورزی، تأثیر خاک‌ورزی بر میزان تولید محصول، نوع ترکیب ادوات مورد استفاده در سیستم‌های خاک‌ورزی هم‌چنان دارای اهمیت می‌باشد (Elahifard et al., 2008). عملیات خاک‌ورزی مناسب، موجب بهبود ساختمان خاک، افزایش خلل و فرج، توزیع بهتر خاک‌دانه‌ها و در نهایت اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود (Akef and Bagheri, 1999). خواص فیزیکی خاک عامل تعیین‌کننده اصلی رشد گیاهچه تا زمان سر برآوردن از خاک و جوانه‌زنی می‌باشد (Malhi et al., 2006). یک بررسی منابع نشان

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
(\* نویسنده مسئول: Email: dkalantari2000@yahoo.com)

۳- مربی گروه مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار، جویبار، مازندران  
DOI: 10.22067/jam.v7i1.49810

شدید دستگاه در حین کار، پیچیدن و گیر کردن علف‌های هرز و بقایای گیاهی به دور تیغه‌ها و محور دوار، ایجاد لایه سخت<sup>۳</sup> در کف شیار شخم و وزن نسبتاً زیاد می‌باشد که ناراضی‌تاری کاربران را به دنبال دارد. همچنین با توجه به عدم تولید در داخل، این دستگاه‌ها از کشورهای مختلف به‌ویژه چین وارد می‌شوند. از سوی دیگر، به دلیل عدم ارائه خدمات پس از فروش و افزایش تقاضا باید شرایط لازم برای تولید داخلی دستگاه‌های جایگزین این ماشین‌ها را فراهم نمود. از این رو در طرح حاضر تلاش بر این بود که کارکرد یک نوع تیغه‌ی جدید با لبه‌ی مضرسی، در سرعت‌های دورانی مختلف و رطوبت‌های متفاوت زمین از طریق بررسی و تحلیل برخی خواص فیزیکی مهم خاک و نیز تحلیل برخی پارامترهای عملکردی ماشین مورد آزمون قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

### الف) طراحی دستگاه و مشخصات آن

برای طراحی خاک‌همزن ابتدا قدرت مورد نیاز به ازای واحد عرض کار مشخص گردید و سپس بر مبنای عرض کار مورد نظر، موتور مناسب انتخاب شد (Tabatabae Kolor and Kiani, 2011). براساس استاندارد، به ازای هر ۴۰ سانتی‌متر عرض کار خاک‌همزن با در نظر گرفتن ۴ تیغه روی هر فلنج (شکل ۱ b)، ۲/۲ کیلووات توان مورد نیاز است (RNAM, 1983). این مسئله براساس رابطه (۱) نیز تخمین زده شد (Kalantari, 2013).

$$p = (80 + 3.5 u^2)bhv + bu \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $p$  قدرت مورد نیاز برحسب کیلووات،  $b$  و  $h$  به ترتیب عرض و عمق کار برحسب متر،  $v$  سرعت پیشروی خاک‌همزن برحسب متر بر ثانیه و  $u$  سرعت خطی محور تیغه‌ها برحسب متر بر ثانیه می‌باشد.

بر این اساس، برای خاک‌همزنی به عرض کار ۶۰ سانتی‌متر، عمق ۷ سانتی‌متر، سرعت پیشروی ۰/۳ متر بر ثانیه و سرعت خطی محور دوار ۲/۸ متر بر ثانیه، قدرت مورد نیاز موتور ۳ کیلووات معادل ۴ اسب بخار به‌دست آمد. از این رو با توجه به موتورهای موجود در بازار، از یک موتور تک سیلندر بنزینی مدل 160F ساخت شرکت Kato چین با قدرت ۵/۵ اسب بخار و حداکثر دور موتور ۳۶۰۰ دور بر دقیقه استفاده شد.

سرعت دورانی محور دوار از ۱۴۰ تا ۳۰۰ دور بر دقیقه متغیر است (Shafiei, 1995). با توجه به اینکه حداکثر دور خروجی موتور ۳۶۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد، لذا با توجه به دور موتور در یک مرحله توسط تسمه و پولی به ۱۱۰۷ دور بر دقیقه و مجدداً در دو مرحله دیگر توسط

(and Heidari Soltanabadi, 2009). با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده از خاک‌همزن دوار نسبت به دیسک برای عملیات تهیه بستر بذر مناسب‌تر تشخیص داده شده و عملکرد محصول در هکتار بیشتری به‌دست آمده است. در تحقیق دیگری که بر روی یک خاک همزن باغی انجام شد، تأثیر عوامل کاری تیغه‌ها در سرعت‌های دورانی و پیشروی مختلف بر روی برخی خواص فیزیکی خاک بررسی گردید. نتایج نشان داد که بهترین ترکیب فاکتورهای سرعت پیشروی و سرعت دورانی تیغه‌ها برای درصد خرد شدن خاک کمتر از ۴ cm، به ترتیب  $0.2 \text{ m s}^{-1}$  و  $110 \text{ rpm}$ ؛ بین ۴ الی ۸ cm برابر  $0.3 \text{ m s}^{-1}$  و  $50 \text{ rpm}$  و بزرگتر از ۸ cm،  $0.4 \text{ m s}^{-1}$  و  $50 \text{ rpm}$  (Tabatabae Kolor and Kiani, 2011). در همین راستا تأثیر خاک‌همزن مجهز به تیغه‌های C شکل دنداندار بر روی برخی خواص فیزیکی خاک توسط کوچک زاده و حقیقی (۲۰۱۱) بررسی شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مقادیر شاخص مخروطی و چگالی ظاهری خاک با تیغه‌های مضرسی در سرعت دورانی و سرعت پیشروی پایین‌تر بهتر از تیغه‌های ساده در سرعت بالاتر است (Kouchakzadeh and Haghghi, 2011).

راه‌های مختلفی برای نشان دادن وضعیت پایداری خاک‌دانه‌ها وجود دارد که از جمله تعیین قطر متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها است. محققان عموماً قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها را مهم‌ترین معیار کمی جهت بیان درجه خرد شدن خاک می‌شناسند (Loghavi and Behnam, 1998). نتایج تحقیقات نشان داده است که افزایش قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها و چگالی ظاهری<sup>۲</sup> خاک باعث تأخیر در زمان جوانه‌زنی و کاهش میزان جوانه‌زنی بذر می‌شود (Sadeghi and Bahrani, 2001).

در مناطق شمالی کشور به‌ویژه در استان‌های مازندران و گیلان، سطح زیر کشت محصولات ماند سبزی، صیفی، توت‌فرنگی و غیره کوچک است، لذا استفاده از خاک‌همزن‌های متداول خاک‌ورزی با کشت تراکتوری مناسب نمی‌باشد. بسیاری از عملیات جانبی دیگر نیز وجود دارد که توسط خاک‌همزن‌های مرسوم به دلیل ابعاد نسبتاً بزرگ و قدرت مانورپذیری پایین‌تر قابل اجرا نیست. از جمله می‌توان به آماده‌سازی، نرم کردن و به‌هم‌زدن خاک فضای بین و زیر درختان باغات، آماده‌سازی خاک برای چمن‌کاری، گل‌کاری، فضای سبز، باغچه‌ها و غیره اشاره کرد.

خاک‌همزن‌های باغی با توجه به وسعت کارایی آن‌ها، در دو سه سال اخیر با استقبال فراوانی از سوی کشاورزان شمال کشور مواجه شده است. با این وجود اکثر خاک‌همزن‌های موجود به دلیل استفاده از تیغه‌های مرسوم (L شکل) دارای مشکلات مختلفی از جمله: ارتعاش

1- Soil particle mean weight diameter

2- Bulk density

3- Plow pan

محور خاک‌همزن استفاده گردید تا حین کار با تنظیم عمق نفوذ این تیغه در داخل خاک از طریق فشار دست کاربر بر روی دسته‌ی دستگاه به سمت پایین، کنترل بهتر بر روی حرکت دستگاه صورت پذیرد (شکل ۲).

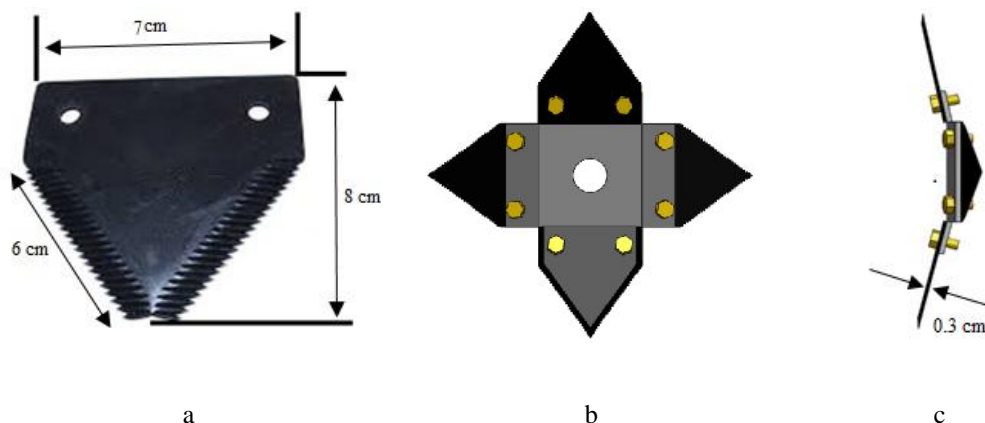
دو عدد چرخ به قطر ۲۵ cm و پهنای ۵ cm در پشت خاک‌همزن با قابلیت تنظیم موقعیت برای سهولت حمل و نقل دستگاه تعبیه شد (شکل ۲).

طول و عرض کل دستگاه با احتساب منضعات آن به ترتیب ۱۲۵ و ۷۰ cm و وزن کل آن ۵۰ کیلوگرم بود (شکل ۲).

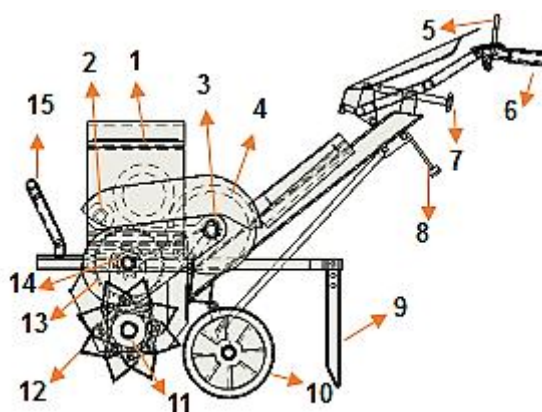
زنجیر و چرخ زنجیر به ترتیب به ۳۱۱ دور بر دقیقه و در نهایت به ۲۳۰ دور بر دقیقه کاهش یافت.

تیغه‌های مثلی لبه مضرسی (شکل ۱a) به تعداد ۴۰ عدد با هم‌پوشانی کامل به صورت چهارتایی و با آرایش مارپیچی بر روی فلنج‌های مخصوص که بر روی محور میله‌ایی به قطر ۲/۵ cm و به طول ۶۵ cm جوش داده شده بود، نصب گردید. فلنج‌ها با فاصله ۶ cm از هم بر روی محور قرار گرفتند. فاصله‌ی مرکز محور دوار تا نوک هر تیغه برابر ۱۲ cm بود.

برای کنترل سرعت پیشروی و کمک به بهتر خرد شدن خاک توسط تیغه‌های دوار از یک تیغه کاردی مانند و قابل تنظیم در پشت



شکل ۱- (a) تیغه مضرسی مورد استفاده در خاک‌همزن، (b) نحوه نصب تیغه‌ها بر روی یک فلنج و (c) نمای جانبی فلنج  
**Fig.1.** Ridged blade used in rotary tiller (a), Installation of the blades on a single flange (b), Flange side view (c)



شکل ۲- (a) خاک‌همزن ساخته شده و (b) طرح‌واره خاک‌همزن و اجزای آن: (۱) موتور، (۲ و ۴) پولی کوچک و بزرگ، (۳، ۱۱، ۱۳، ۱۴) چرخ زنجیر و زنجیر (سیستم انتقال قدرت)، (۵) دسته کلاچ، (۶) دسته هدایت و کنترل، (۷) اهرم تنظیم دسته، (۸) اهرم تنظیم موقعیت چرخ، (۹) تیغه کاردی شکل، (۱۰) چرخ‌ها، (۱۲) تیغه‌ها و (۱۵) محافظ موتور

**Fig.2.** (a) Fabricated rotary tiller and (b) Schematic of the rotary tiller and its components; (1) Engine, (2&4) Small and big pulley, (3, 11, 13 and 14) Sprocket and chain (power transmission system), (5) Clutch handle, (6) Guidance and control handle, (7) Adjustment lever handle, (8) Adjustment lever of wheel position, (9) Knife blade, (10) Wheels, (12) Blades and (15) Guard of engine

## (ب) آزمون مزرعه‌ای

ابتدا در چندین مرحله دستگاه برای آزمایش اولیه به مزرعه منتقل گردید تا علاوه بر بررسی کارکرد و بهبود عملکرد دستگاه در مزرعه، مهارت کافی در کار با دستگاه به دست آید. آزمون مزرعه‌ای خاک همزن در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در یک باغ مرکبات واقع در روستای مبارکلا از توابع شهرستان ساری، استان

مازندران انجام گرفت (شکل ۳). قبل از انجام آزمایش‌ها، برخی خصوصیات مزرعه‌ی آزمایشی از جمله بافت خاک، چگالی ظاهری خاک و میانگین ارتفاع علف‌های هرز به دست آمد (جدول ۱). آزمون به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در کرت‌های  $5 \times 10$  m<sup>2</sup> و نمونه‌برداری در سه تکرار مطابق استاندارد (۱۹۸۳، RNAM) انجام گرفت.

جدول ۱- برخی خصوصیات مزرعه‌ی آزمایشی

Table 1- Some of the properties of the experimental field

نوع زمین Type of land	میانگین ارتفاع علف یا کلس (mm) Average height of weed or crop residue	چگالی ظاهری خاک (g cm <sup>-3</sup> ) Soil bulk density	بافت خاک Soil texture		
			شن Sand	سیلت Silt	رس Clay
باغ Orchards	108	1.37	53%	41%	6%



a



b

شکل ۳- مزرعه آزمایشی: (a) قبل از انجام آزمایش (b) حین انجام آزمایش

Fig.3. Experimental field; (a) Before experiment, (b) During experiment

که در رابطه (۲)،  $mc$  رطوبت خاک بر مبنای خاک خشک برحسب درصد،  $m_1$  وزن خاک تر برحسب گرم و  $m_2$  وزن خاک خشک برحسب گرم می باشد.

نمونه‌برداری از کرت‌ها برای تعیین قطر متوسط وزنی خاکدانه، چند روز پس از انجام عملیات خاک‌همزنی انجام گرفت تا خاک‌دانه‌های ایجاد شده در معرض هوا و تابش خورشید، خشک و نسبتاً سخت شده در حین عبور از الک‌ها کمتر دچار شکستگی و کاهش اندازه شوند (Sedghi and Abbaspurgilandeh, 2014). در هر کرت آزمایشی، سه نقطه به‌طور تصادفی انتخاب و توسط قاب چوبی  $20 \times 20$  سانتی‌متر و در عمق  $7 \text{ cm} - 10$  نمونه‌برداری شد و مقدار میانگین این مقادیر به‌عنوان نماینده قطر متوسط وزنی خاکدانه در هر کرت معرفی گردید. برای تعیین قطر خاکدانه‌ها از یک سری ۶ تایی الک استاندارد با قطرهای ۸،  $4/75$ ،  $2/36$ ، ۲، ۱،  $0/5$  میلی‌متر استفاده شد (شکل ۴، b). الک‌ها به‌صورت عمودی از بزرگ‌ترین قطر به

کرت‌های اصلی به سه کرت فرعی به ابعاد  $5 \times 10$  m<sup>2</sup> تقسیم شد. رطوبت خاک به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح شامل رطوبت بالا و رطوبت پایین به ترتیب  $3/30 - 9/21$  درصد و  $9/21 - 5/13$  درصد بر مبنای وزن خشک و سرعت دورانی محور تیغه‌ها به‌عنوان عامل فرعی در سه سطح شامل سرعت کم ( $170 - 140$  rpm)، سرعت متوسط ( $200 - 170$  rpm) و سرعت زیاد ( $230 - 200$  rpm) در نظر گرفته شد. پارامترهای اندازه‌گیری شامل درجه خردشدگی خاک (قطر متوسط وزنی خاک‌دانه)، درصد خردشدگی خاک، میزان سست‌شدگی خاک (با معیار چگالی ظاهری)، مصرف ویژه سوخت و بازده ماشین بود.

از رابطه (۲) درصد رطوبت خاک براساس وزن خاک خشک محاسبه گردید (Gouran Oreyimi and Keyhani, 2010).

$$mc = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (2)$$

برای اندازه‌گیری بازده 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 ( Shir Esmailie and Heidari Soltanabadi, 2009; Rajabi Vandechali et al., 2015).

تجزیه و تحلیل داده‌ها به دو روش (۱) توصیفی و رسم جداول فراوانی و (۲) استنباطی پارامتریک یعنی روش تجزیه واریانس (Anova) و مقایسه مقادیر میانگین و برهم کنش پارامترها از طریق نرم افزار SPSS16 انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن<sup>۲</sup> در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد (Arvidsson and Bolenius, 2006; Rajabi Vandechali et al., 2015).

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بازده ماشین تحت تأثیر هیچ یک از عوامل آزمایش قرار نگرفت. اثر رطوبت خاک بر روی چگالی ظاهری در سطح احتمال ۵ درصد و بر دیگر پارامترها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر سرعت دورانی تیغه‌ها بر قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها، مصرف ویژه سوخت و درصد خرد شدن خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اما بر دیگر پارامترها اثر معنی‌داری نداشت. اثر برهم کنش عوامل آزمایش بر هیچ یک از پارامترهای اندازه‌گیری معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر رطوبت خاک در جدول ۳ نشان داده شده است.

با افزایش سرعت دورانی محور تیغه‌ها، قطر متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها در هر دو سطح رطوبتی کاهش یافت (شکل ۵a). در واقع، با افزایش سرعت دورانی، تعداد برخوردی تیغه با خاک در واحد زمان افزایش یافت. در نتیجه با توجه به ثابت بودن سرعت پیشروی دستگاه در تمامی آزمایش‌ها، خاک‌دانه‌های کوچک‌تری بر جای ماند. درصد خرد شدن خاک با افزایش سرعت دورانی تیغه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۶). علت این امر احتمالاً به این دلیل بود که در سرعت‌های دورانی بالاتر، انرژی بیشتری به لقمه‌های خاک منتقل شده که در نتیجه منجر به خردشدگی بیشتر خاک گردید. در تحقیقی مشابه، تفاوت معنی‌داری در رابطه با تأثیر سرعت دورانی تیغه‌ها بر روی درصد خرد شدن خاک گزارش گردید (Tabatabaei and Kooloor, 2011).

کوچک‌ترین قطر روی هم قرار گرفتند. برای الک کردن نمونه‌ها از دستگاه شیکر<sup>۱</sup> استفاده گردید و هر نمونه به مدت ۳۰ ثانیه تکان داده شد. سپس خاک باقی‌مانده بر روی هر الک به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد (شکل ۴a).

قطر متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید ( Shir Esmailie and Heidari Soltanabadi, 2009; Rajabi Vandechali et al., 2015).

$$MWD = \sum_{i=1}^n \frac{W_i \times D_i}{w_t} \quad (3)$$

در رابطه (۳)،  $MWD$ : قطر متوسط وزنی خاک‌دانه برحسب میلی‌متر،  $W_i$ : وزن خاک روی هر الک بر حسب گرم،  $W_t$ : وزن کل خاک خرد شده در هر نمونه مورد آزمایش بر حسب گرم و  $D_i$ : قطر متوسط خاک‌دانه‌ها روی هر الک برحسب میلی‌متر (که برای الک دوم به بعد برابر با متوسط قطر الک مورد نظر و قطر الک بالایی آن) بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

درصد خردشدگی خاک با استفاده از رابطه (۴) به‌دست آمد ( Lee et al., 2003).

$$R_{sb} (\%) = \frac{(w_{ts} - w_{os})}{w_{ts}} \times 100 \quad (4)$$

که در رابطه (۴)،  $R_{sb}$ : درصد خرد شدن خاک،  $w_{ts}$ : وزن کل نمونه خاک برحسب گرم و  $w_{os}$ : وزن دانه‌های خاک با قطر بیش از ۳۰mm می‌باشد.

جرم مخصوص ظاهری خاک با نمونه‌گیری در سه تکرار توسط استوانه‌های مخصوص به قطر ۸ cm و ارتفاع ۷ cm (شکل ۴c) تا عمق خاک‌ورزی در هر کرت، تعیین گردید. جرم مخصوص ظاهری، پس از خشک کردن نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در آون (شکل ۴d)، از تقسیم جرم خاک خشک بر حجم کل نمونه بر حسب  $g \text{ cm}^{-3}$  به‌دست آمد ( Rajabi Vandechali et al., 2015).

برای تعیین مقدار سوخت مصرف شده از روش باک پر استفاده شد (Habibi Asl and Gilani, 2014). در این روش قبل از شروع عملیات، باک موتور تا سطح مشخصی پر گردید. بلافاصله بعد از پایان هر کرت موتور خاموش شده و پس از تراز طولی و عرضی خاک‌همزن، توسط یک سرنگ مدرج با حجم ۶۰CC (شکل ۴e) مجدداً سطح سوخت درون باک به سطح اولیه می‌رسید. مصرف ویژه سوخت از رابطه (۵) به‌دست آمد ( Hemmat and Asadi, 1995).

$$S.F.C = \frac{10L}{A} \quad (5)$$

که در رابطه (۵)،  $S.F.C$ : مصرف ویژه سوخت برحسب لیتر بر هکتار،  $L$ : میزان مصرف سوخت در هر کرت برحسب میلی‌لیتر و  $A$ : مساحت خاک‌ورزی شده در هر کرت برحسب متر مربع می‌باشد.



شکل ۴- (a) ترازوی دیجیتال، (b) شیکر و الک‌ها، (c) استوانه نمونه‌برداری، (d) آون، (e) سرنگ مدرج

Fig.4. (a) Digital scale, (b) Shaker and sieves, (c) Sampling cylinder, (d) Oven, (e) Scaled syringe

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 (Rajabi Vandechali *et al.*, 2015).

کمترین مقدار قطر متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها و بیشترین مقدار درصد خرد شدن خاک در رطوبت بالا حاصل شد (جدول ۳، شکل ۵ a و شکل ۶ a). در واقع در رطوبت‌های پایین، ذرات خاک در اثر بالا بودن نیروهای همدوسی به هم چسبیده و منسجم بوده، مقاومت

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

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

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square				
		قطر متوسط وزنی خاکدانه Soil particle 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	درصد خرد شدن خاک Soil crumbling percent ( $R_{cb}$ )
سرعت دورانی تیغه‌ها (A) (rpm) Blade Rotational speed (A)	2	18.43**	0.005 <sup>ns</sup>	672.971**	3.496 <sup>ns</sup>	259.619**
رطوبت خاک (B) Soil moisture (B)	1	51.248*	0.035*	3122.764**	75.710 <sup>ns</sup>	601.504**
(A×B) خطا Error	2	0.134 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	52.713 <sup>ns</sup>	31.791 <sup>ns</sup>	3.365 <sup>ns</sup>
	12	2.097	0.004	78.672	19.677	15.070

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیر معنی‌دار

\*, \*\* Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns: non-significant

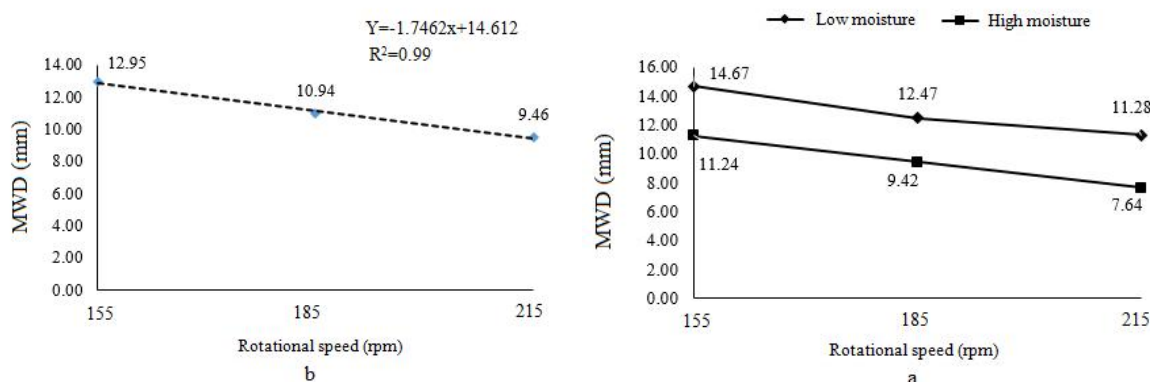
با افزایش سرعت دورانی محور تیغه‌ها، مصرف ویژه سوخت خاک همزن ابتدا با شیبی ملایم و سپس با شیبی تند افزایش یافت (شکل ۷ a). مصرف سوخت خاک همزن، در رطوبت بالا بیشترین مقدار بود (جدول ۳). در سرعت دورانی زیاد و هم‌چنین در رطوبت بالا (۳/۳۰-۲۱/۹ درصد بر مبنای وزن خشک)، با توجه به افزایش درصد خرد شدن خاک (شکل ۶)، انرژی بیشتری صرف خرد شدن خاک شد که به احتمال زیاد این امر منجر به افزایش مصرف ویژه سوخت گردید.

کمترین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک در رطوبت پایین به دست آمد (جدول ۳). علت این امر ممکن است به این دلیل باشد که با کاهش رطوبت خاک، قطر خاک‌دانه‌ها افزایش و تورفتگی ذرات خاک کاهش یافت از این رو، جرم واحد حجم خاک کاهش یافت. در تحقیقی مشابه، برای چگالی ظاهری خاک تفاوتی معنی‌دار و مشابه این امر نسبت به سطوح رطوبت خاک گزارش گردید (Rajabi Vandechali *et al.*, 2015)

**جدول ۳- مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر رطوبت خاک**  
**Table 3- Mean comparison of the measured parameter affected by Soil moisture**

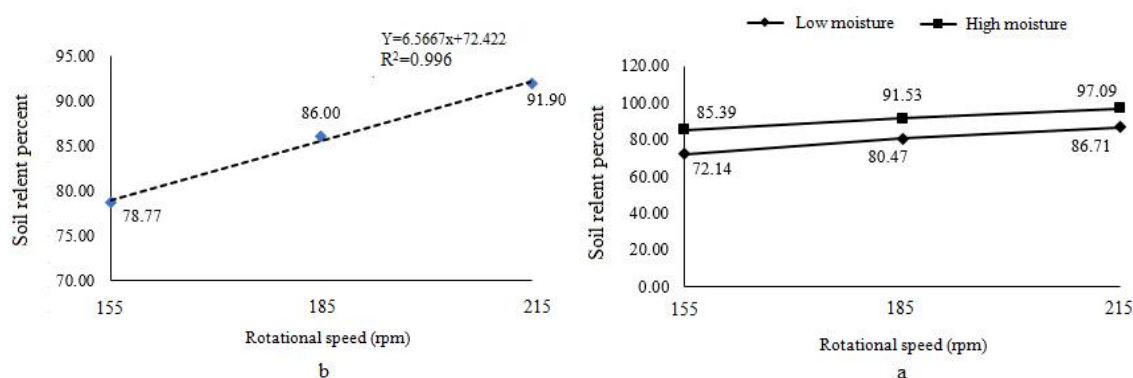
رطوبت خاک Soil moisture	پارامتر اندازه‌گیری Measured parameter				
	قطر متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها Soil particle mean weight diameter (mm) (M.W.D)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g cm <sup>-3</sup> ) (B.D)	مصرف ویژه سوخت Specific fuel consumption (lit h <sup>-1</sup> ) (S.F.C)	بازده ماشین Machine efficiency (%)	درصد خردشدن خاک Soil crumbling percent (R <sub>sb</sub> )
رطوبت پایین Low moisture	12.80 <sup>a</sup>	1.03 <sup>b</sup>	61.12 <sup>b</sup>	92.58 <sup>a</sup>	79.77 <sup>b</sup>
رطوبت بالا High moisture	9.43 <sup>b</sup>	1.12 <sup>a</sup>	87.47 <sup>a</sup>	96.68 <sup>a</sup>	91.34 <sup>a</sup>

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم معنی‌دار بودن تفاوت بین داده‌های آن ستون است  
 Same letters in each column indicates no significant differences between the data of that column

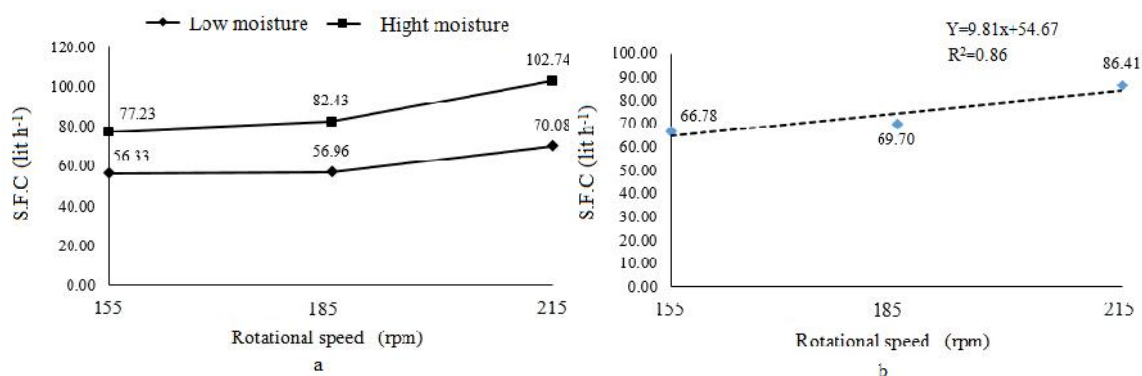


**شکل ۵- (a) تأثیر سرعت دورانی بر قطر متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها در دو سطح رطوبتی، (b) رابطه رگرسیونی سرعت دورانی و قطر متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها**

**Fig.5. (a) Effect of rotational speed on soil particle mean weight diameter at two levels of moisture (b) Regression equation of rotational speed and soil particle mean weight diameter**



**شکل ۶- (a) تأثیر سرعت دورانی بر درصد خردشدن خاک در دو سطح رطوبتی، (b) رابطه رگرسیونی سرعت دورانی و درصد خردشدن خاک**  
**Fig.6. Effect of rotational speed on; (a) Soil relent percent in Two levels of moisture, (b) Regression equation of rotational speed and soil relent percent**



**شکل ۷- (a)** تأثیر سرعت دورانی بر مصرف ویژه سوخت در دو سطح رطوبتی (b) رابطه رگرسیونی سرعت دورانی و مصرف ویژه سوخت  
**Fig.7.** Effect of rotational speed on; (a) specific fuel consumption (S.F.C) in two levels of moisture (b) Regression equation of rotational speed and specific fuel consumption

دور زیاد به دور متوسط، به مقدار ۱۶/۷۱ لیتر بر هکتار در مصرف سوخت صرفه جویی می‌شود (شکل ۷ b) که در مقیاس وسیع و سطح خاک‌ورزی زیاد، اهمیت بیشتری خواهد داشت. به‌طور کلی کم‌تر بودن سرعت دورانی محور نتایج مثبتی چون کاهش قدرت مورد نیاز، حفظ ساختار خاک و کاهش فرسایش تیغه را نیز به همراه دارد (Shafiei, 1995).

### نتیجه‌گیری

تأثیر رطوبت خاک و سرعت دورانی تیغه‌ها بر قطر متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها، درصد خرد شدن خاک و مصرف ویژه سوخت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برای دستیابی به دانه‌بندی ریز خاک ترکیب سرعت دورانی (۲۳۰-۲۰۰ rpm) و رطوبت خاک (۳/۳-۳۰/۳) ۲۱/۹ درصد) و برای به‌دست آوردن دانه‌بندی درشت خاک ترکیب سرعت دورانی (۱۷۰-۱۴۰ rpm) و رطوبت خاک (۲۱/۹-۱۳/۵ درصد) مناسب‌تر می‌باشد. استفاده از سرعت دورانی زیاد به دلیل افزایش مصرف سوخت و به تبع آن مسائل آلودگی و زیست محیطی، چندان توصیه نمی‌گردد.

### سپاسگزاری

نویسندگان از جناب آقای علی یوسف‌زاده، ریاست محترم شرکت تولید ادوات و ماشین‌آلات کشاورزی جویبار درو، به خاطر در اختیار نهادن اطلاعات تجربی و همکاری در ساخت خاک‌همزن و نیز از جناب مهندس حسام‌الدین محمدی به خاطر کمک در انجام آزمایش‌ها بی‌نهایت سپاسگزارند.

سرعت دورانی محور تیغه‌ها و رطوبت خاک تأثیر معنی‌داری بر بازده ماشین نداشت و مقادیر بازده در سرعت‌های دورانی مختلف و رطوبت‌های متفاوت زمین، تقریباً مشابه و در محدوده ۹۲ تا ۹۷ درصد بود که مقداری مطلوب است (جدول ۲ و ۳). علت این امر به این دلیل بود که تلفات زمانی شامل زمان‌های لازم برای دور زدن‌ها و غیره در تیمارهای مختلف آزمایش، نزدیک به هم بود. از طرفی، با توجه به ثابت بودن سرعت پیشروی دستگاه در تمامی کرت‌ها، زمان مفید نیز برای تمام آزمایش‌ها یکسان بود.

برای انتخاب ترکیب مناسب سرعت دورانی تیغه‌ها و رطوبت خاک، با توجه به این که اثر برهم‌کنش عوامل آزمایش بر هیچ‌یک از پارامترهای اندازه‌گیری معنی‌دار نبود، لذا از روی تأثیر هر عامل به تنهایی بر روی پارامترهای اندازه‌گیری، ترکیب مناسب برای انواع مختلف گیاهان تعیین گردید. بیش‌ترین درصد خردشدگی در رطوبت بالا (در محدوده مورد آزمون) و نیز در سرعت زیاد به‌دست آمد (جدول ۳ و شکل ۶). از طرفی، بیش‌ترین چگالی ظاهری خاک نیز در رطوبت بالا حاصل شد (جدول ۳). از این رو، برای دستیابی به دانه‌بندی ریز خاک (مناسب برای کشت بذرهای ریز مثل سبزیجات و چمن) سرعت دورانی زیاد (۲۳۰-۲۰۰ rpm) و رطوبت خاک بالا (۳/۳-۲۱/۹ درصد) مناسب می‌باشد. بر مبنای همین دو معیار (چگالی ظاهری و درصد خرد شدن خاک)، برای به‌دست آوردن دانه‌بندی درشت خاک (متداول در باغ‌ها و زیر درختان) سرعت دورانی کم (۱۷۰-۱۴۰ rpm) و رطوبت خاک پایین (۲۱/۹-۱۳/۵ درصد) مناسب‌تر است.

استفاده از سرعت دورانی زیاد به دلیل افزایش مصرف سوخت و مسائل آلودگی و زیست محیطی و از طرفی سخت‌تر بودن کنترل و هدایت دستگاه در این سرعت، به جز در مواقعی که دانه‌بندی بسیار ریز خاک مورد نیاز باشد، توصیه نمی‌گردد. با کاهش سرعت دورانی از



**References**

1. Akef, M., and I. Bagheri. 1999. Soil management and effects of agricultural machines on soil physical properties. Guilan University Press, Rasht, Guilan. (In Farsi).
2. 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.
3. 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.
4. Elahifard, A., M. Hojjati, and N. Alavi. 2008. Modeling the soil cutting process in rotary tillers using finite element method. The 5<sup>th</sup> National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Iran Association of Agricultural Engineering and Mechanisation, Mashhad, Iran. (In Farsi).
5. Gouran Oreyimi, M., and A. R. Keyhani. 2010. Effects of tractor velocity and soil moisture content on drive wheel slippage of tractor. The 6<sup>th</sup> National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. College of Agriculture and Natural Resources of University of Tehran, Karaj, Iran. (In Farsi).
6. Habibi Asl, J., and A. A. Gilani. 2014. Effect of Tillage method and rice cultivation on machine parameters, yield and yield components of wheat and residue management for Rice-Wheat rotation in Khuzestan. *Journal of Agricultural Engineering Research* 15: 45-62. (In Farsi).
7. 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.
8. Kalantari, D. 2013. A mathematical model for estimation of rotary tiller power requirement. *World of Sciences Journal* 1: 86-93.
9. Kouchakzadeh, A., and K. Haghighi, 2011. The effect of rototiller equipped with serrated blades on some soil properties. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 2 (6): 209-215.
10. Lee, K. S., S. H. Park, W. Y. Park, and C. S. Lee. 2003. Strip tillage characteristics of rotary tiller blades for use in dryland direct rice seeder. *Soil and Tillage Research journal* 71: 25-32.
11. 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).
12. Malhi, S. S., R. Lemke, Z. H. Wang, S. Baldev, and S. Chhabra. 2006. Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions. *Soil and Tillage Research* 90: 171-183.
13. Rajabi Vandechali, M., A. Hemmat, and A. Ghanbari Malidareh. Field performance of the disk harrow, power harrow and rotary tiller at different soil moisture contents on a clay loam soil in Mazandaran 2015. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (1): 63-72. (In Farsi).
14. Regional Network for Agricultural Machinery. 1983. RNAM test codes and procedures for farm machinery. Los Banos, Philippines. 297p
15. Sadeghi, H., and M. J. Bahrani. 2001. Effect of plant density and nitrogen rate on yield and yield components of corn. *Iranian Journal of Crop Science* 3 (2): 1-11. (In Farsi).
16. Sedghi, R., and Y. Abbaspur-gilandeh. 2014. Factors affecting soil fragmentation during tillage practice and determining the optimal range of the parameters using a fuzzy logic approach. *Scientific Journal of Agriculture* 37: 35-47. (In Farsi).
17. Shafiei, S. A. 1995. Tillage machines. University Publication Center. Tehran.
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 (*Brassic napus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences* 11 (3): 223-236. (In Farsi).
19. Tabatabae Kolor, R., and Gh. Kiani. 2006. Tillage for sustainable cropping (Translation). Faraghi Publications. Gorgan, Iran.
20. Tabatabae Kolor, R., and Gh. Kiani. 2011. Investigation of the rototiller blades operational factors on the orchards and paddy fields tillage. *Journal of Agricultural Machinery Engineering* 1 (1): 34-40. (In Farsi).
21. Topakci M., H. K. Celik, and D. Yilmaz. 2008. Stress analysis on transmission gears of a rotary tiller using finite element method. *Akendiz Ünivresitesi Ziraat Fakultesi Dergisi* 21(2): 155-160.



## Testing and evaluation of a rototiller with new ridged blades

H. Gholami<sup>1</sup> - D. Kalantari<sup>2\*</sup> - M. Rajabi Vandechali<sup>3</sup>

Received: 12-09-2015

Accepted: 11-01-2016

### Introduction

Recently, employment of rotary tillers has been expanded in gardens and small farms, especially in the northern of Iran. However using the L-shaped blades in the conventional rotary tillers have some problems such as severe vibration problems, weeds sticking around the blades, forming the plow pan and lower performance due to the less powers of such small rototillers. Therefore in order to overcome the above mentioned problems, a rototiller with new ridged blades was designed, fabricated and tested in this research.

### Materials and Methods

Experiments were carried out in one of the citrus orchards in Mazandaran, Sari. The experimental design was split plots based on randomized complete block design with three replications. The soil moisture as main plot varied in two levels of 13.5-21.9 and 21.9-30.3 percent based on dry weight and the rotational speed of blades as subplots varied in three levels of 140-170, 170-200 and 200-230 rpm. The measured parameters consist of soil particle mean weight diameter, soil bulk density, soil crumbling percentage, specific fuel consumption and machine efficiency. The diameter of soil particles was measured using a set of standard sieves with diameter ranging from 0.5 to 8 mm. Then a laboratory shaker was used to sift the samples. Each sample was shaken in 30 sec. The fuel consumption during the experiments was determined by the filled fuel tank method. Analysis of variance (ANOVA) and mean comparisons and interaction between the parameters were performed using the SPSS 16 software.

### Results and Discussion

The results indicated that the soil particle mean weight diameter reduced by increasing blades rotational speed in both examined soil moisture contents. Results indicated that the soil crumbling percent increases with increasing the rotational speed. The main reason for this effect could be due to the more energy transferring to the soil at higher rotational speeds, which result in further crumbling of the soil slices. Regarding the results obtained in this study, the specific fuel consumption increased at first in a light slope, then in a steep rise with increasing the blades rotational speed. The reason can be the higher crumbling percent of the soil at higher rotational speeds and higher soil moisture contents (at the range of 21.9-30.3%), providing the more specific energy consumptions. The specific fuel consumption was the maximum at higher soil moisture content of 30%. The results indicated that the blades rotational speed and soil moisture content had no significant effect on the field efficiency of the examined rototiller. The field efficiency varied in the range of 92 to 97% in all of the experiments, i.e., rotational speed between 140 to 230 rpm and moisture content ranging from 13.5 to 30.3%. The reason for that was due to the roughly similar turning times, minor adjustments, changing operators and some other parameters influencing the field efficiency. Reduction of the rotational speed of the rototiller from high-to-moderate speeds leads to decrease the fuel consumption to 17 liter ha<sup>-1</sup>, which could be significant in wide scale of soil tillage operations. As a general result, reduction of the rotational speed had some considerable advantages such as reducing power requirements, reducing blade wearing and maintaining soil structure.

### Conclusions

Influence of soil moisture and rotational speed of blades on the soil particle mean weight diameter, soil crumbling percentage and specific fuel consumption were significant ( $P < 0.01$ ) for fabricated rototiller with new ridged blades. Statistical analysis indicated that the soil crumbling percentage and specific fuel consumptions

1- M.Sc. Student, Department of Biosystems Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran

2- Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran

3- Instructor, Department of Mechanic, Islamic Azad University of Jouybar, Jouybar, Mazandaran, Iran

(\*- Corresponding Author Email: dkalantari2000@yahoo.com)

increased linearly with increasing the rotational speed of blades. The determination coefficients of the crumbling percentage and specific fuel consumption as a function of rotational speed were 0.996 and 0.860, respectively. Meanwhile, clod mean weight diameter decreased linearly by increasing the rotational speed with a determination coefficient of 0.990. For achieving fine soil aggregates, combining high rotational speed and higher soil moisture (20 to 30%) is suggested, while to obtain a coarse soil gradation, low rotational speed and low soil moisture are more suitable compositions. The use of high rotational speed is not recommended due to increasing fuel consumption and consequently the soil erosion and environmental issues.

**Keywords:** Ridged blade, Rototiller, Soil particle diameter, Specific fuel consumption