

## بررسی عوامل کاری تیغه‌های روتوتیلر در عملیات خاک ورزی باغات و شالیزارها

رضا طباطبائی کلور<sup>۱\*</sup> - غفار کیانی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۲۳

### چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از روتوتیلرها در باغات و مزارع کوچک بویژه در مناطق شمالی کشور گسترش پیدا کرده است. در این طرح، عملکرد یک دستگاه روتوتیلر چند منظوره مورد تحلیل و ارزیابی مزرعه‌ای قرار گرفت. پارامترهای اصلی اجرای کاری مانند سرعت پیشروی ماشین و سرعت دورانی تیغه‌ها و تاثیر آن‌ها بر کیفیت عملیات خاک ورزی مورد تحلیل نظری و عملی قرار گرفت. نتایج این تحلیل‌ها نشان داد که سرعت پیشروی و سرعت دورانی تیغه‌ها بر ضخامت لایه بریده شده خاک و در نتیجه میزان خرد شدن آن تاثیر دارد. آزمون مزرعه‌ای در شرایط باغ و شالیزار به منظور تعیین درصد خرد شدن خاک و ضخامت لایه بریده شده خاک و تاثیر عواملی مانند سرعت دوران تیغه‌ها و سرعت پیشروی ماشین بر آن‌ها انجام شد. بعلاوه برخی خواص فیزیکی خاک از جمله بافت خاک، میانگین ارتفاع علف‌های هرز، رطوبت خاک و جرم مخصوص خاک در باغ و شالیزار در عمق ۱۵۰ MM بدست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با آزمایش فاکتوریل ۳×۳ و در سه تکرار انجام گرفت. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌های آزمون دانکن مشاهده شد که بهترین ترکیب از فاکتورهای سرعت پیشروی ماشین و سرعت دورانی تیغه‌ها برای ضخامت لایه برش خاک، به ترتیب عبارت بودند از  $0.4 \text{ MS}^{-1}$  و  $50 \text{ RPM}$  که اختلاف معنی داری با بقیه ترکیب‌های این دو فاکتور دارد. بعلاوه، بهترین ترکیب فاکتورهای سرعت پیشروی و سرعت دورانی تیغه‌ها برای درصد خرد شدن خاک کمتر از ۴۰ MM، به ترتیب  $0.2 \text{ MS}^{-1}$  و  $110 \text{ RPM}$ ؛ بین ۴۰MM الی ۸۰MM،  $0.3 \text{ MS}^{-1}$  و  $50 \text{ RPM}$  و بزرگتر از ۸۰MM،  $0.4 \text{ MS}^{-1}$  و  $50 \text{ RPM}$  بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: خاک ورزی، روتوتیلر، سرعت دورانی تیغه، سرعت پیشروی ماشین

### مقدمه ۲۱

در کشورهای توسعه یافته در کنار مدیریت علف‌های هرز، با بکارگیری سیستم‌های خاک ورزی حفاظتی، مدیریت بقایای گیاهی را نیز به روش باقی گذاردن در سطح خاک و یا اختلاط آن با خاک توسط روتوتیلرها، به نحو شایسته‌ای انجام می‌دهند. بدین منظور این بقایا در خاک حفظ می‌شوند و لذا خاک ورزی در این مناطق نیازمند ادوات و ابزارهای ویژه‌ای است (Koustic et al., 2001; Cannel and Hawes, 1994). تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در دنیا در زمینه ساخت انواع روتوتیلرهای تراکتورسوار و خودگردان با مکانیزم خاک همزن دوار صورت گرفته است. برخی از محققان عوامل موثر مانند تعداد تیغه‌ها، سرعت دورانی تیغه، زاویه نصب و شکل آن‌ها بر میزان خرد کردن خاک مطالعه کرده اند (Hendrick and Gill, 1971a, 1971b; Olsen and Borensen, 1997; Koustic et al., 2001; Lee et al., 2003; Hongeli et al., 2007). در عملیاتی مانند سبزی و صیفی کاری آماده سازی خاک شرایط متفاوتی نسبت به دیگر محصولات زراعی می‌طلبد و عمق آماده سازی بستر بذر و دانه بندی آن متفاوت است. در این شرایط می‌توان خاک را با روتوتیلرها آماده کرد (Tabatabae koloor and Kiani, 2006).

در سال‌های اخیر با توجه به تحقیقات گسترده در زمینه عملیات خاک ورزی و ارائه روش‌های مختلف متناسب با شرایط زمین و محصول، ماشین‌ها و ادوات خاک ورزی متنوعی ابداع شده است. در این میان، روتوتیلرها بدلیل ویژگی‌های خاص و کاربردهای گسترده خود از جمله کار در باغات و زیر درختان و گلخانه‌ها و فضای سبز مورد توجه قرار گرفتند. روتوتیلرها عمدتاً بصورت تیلرسوار یا موتوردار و بدون چرخ ساخته می‌شوند که درگیری تیغه‌ها و خاک ضمن بهم‌زدن خاک موجب پیشروی ماشین نیز می‌گردد. بعلاوه، به عنوان یک سیستم خاک ورزی حفاظتی به مدیریت بقایای گیاهی نیز کمک می‌کند (Tabatabae koloor and Kiani, 2006).

۱- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
\* نویسنده مسئول: (Email: r.tabatabaei@sanru.ac.ir)  
۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

می باشد لذا در یک مرحله توسط تسمه و پولی به میزان نصف و مجدداً در مرحله دیگر توسط چرخ دنده و زنجیر به نصف کاهش یافت و به ۴۵۰ rpm رسید. سپس توسط جعبه دنده سرعت های دورانی مورد نظر با توجه به نسبت دنده ها در دنده یک ۵۰ rpm، دنده دو ۷۰ rpm و دنده سه ۱۱۰ rpm بدست آمد.

۳ تیغه های انحنادار (شکل ۳) به تعداد ۲۰ عدد با همپوشانی کامل به شکل مارپیچی و بصورت چهارتایی روی محور لوله ای به قطر خارجی ۵۰ mm، ضخامت ۵ mm و به طول ۸۰۰ mm نصب گردید. قطر کامل نوک به نوک تیغه ها ۴۵۰ mm می باشد. جنس تیغه ها مطابق استاندارد تیغه های ادوات خاکورزی CK45 انتخاب شد (Valinejad, 1993).

۴ دو عدد بشقاب لبه تیز به قطر ۲۵۰ mm در دو طرف محور دوار نصب شد تا با نفوذ داخل خاک و تحمل تنش های جانبی، لرزش های جانبی دستگاه را کاهش دهد.

۵ برای کنترل سرعت پیشروی و کمک به بهتر خرد شدن خاک توسط تیغه های دوار از یک تیغه چیزل مانند قابل تنظیم در پشت محور روتوتیلر استفاده گردید تا حین کار با تنظیم عمق نفوذ این تیغه داخل خاک، کنترل بهتری روی شدت بهم زدن خاک صورت پذیرد.

۶ طول کل دستگاه ۱۲۰۰ mm و عرض کل آن ۸۰۰ mm می باشد. شاسی دستگاه از نبشی فولادی ۳۰ mm × ۳۰ mm به طول ۶۰۰ mm عرض ۳۰۰ mm و ارتفاع ۴۵۰ mm تشکیل شده است. عرض و طول کل دستگاه با احتساب منضعات به ترتیب ۸۰۰ mm و ۱۲۰۰ mm و وزن کل آن ۵۰ kg می باشد (شکل ۱).

در طراحی روتوتیلر از جمله عواملی که در میزان خرد شدن خاک موثر می باشد سرعت دورانی محور تیغه ها و سرعت پیشروی ماشین می باشد. تحلیل نظری این عوامل همراه با نتایج آزمایش مزرعه ای در طراحی روتوتیلر نقش با اهمیتی دارد.

### تحلیل حرکت تیغه ها

تیغه های روتوتیلر به صورت شعاعی بر روی دیسک هایی به شعاع R نصب می شوند که این دیسک ها بر روی محور دوار نصب می شوند. تیغه ها دارای حرکت ترکیبی می باشند؛ حرکت دورانی نوک تیغه حول محور تحت عنوان سرعت محیطی ( $V_p$ ) و حرکت انتقالی متناسب با سرعت پیشروی ماشین ( $V_f$ ) نامیده می شود. سرعت محیطی،  $V_p = \omega r$ ، تابعی از  $\omega$  سرعت زاویه ای تیغه (رادیان بر ثانیه) و  $r$  شعاع دوران نوک تیغه می باشد. بنابراین سرعت کل بصورت مجموع برداری این سرعت ها،  $V = \vec{V}_p + \vec{V}_f$  می باشد. مطابق شکل ۲ مختصات هر نقطه از نوک تیغه (M) را می توان توسط رابطه زیر بیان کرد:

از آنجا که سطح زیر کشت سبزی و صیفی در کشور بویژه در استان های شمالی کوچک است، لذا استفاده از روتوتیلر های متداول خاک ورزی با کشت تراکتوری مناسب نمی باشد. بسیاری از عملیات غیر زراعی دیگری نیز وجود دارد که توسط روتوتیلر های معمولی قابل اجرا نیست. از جمله می توان به آماده سازی، نرم کردن و بهم زدن خاک فضای بین و زیر درختان باغات، آماده سازی خاک برای چمن کاری، گلکاری، فضای سبزی، باغچه ها و غیره اشاره کرد. در این طرح تلاش بر این است که با بررسی و تحلیل اجزای کاری از جمله سرعت دورانی تیغه ها و سرعت پیشروی دستگاه و عوامل کیفی خاک مانند درصد خرد شدن و ضخامت لایه بریده شده خاک با آزمون و ارزیابی یک نمونه ساخته شده در جهت بهینه سازی کیفیت کار روتوتیلر های تولید داخل گام برداشت. روتوتیلر ها با توجه به وسعت کارائی آن ها، در دو سه سال اخیر با استقبال فراوانی از سوی کاربران مواجه شده است که با توجه به عدم تولید در داخل، این دستگاه ها از کشورهای مختلف با قیمت های گزاف و تا حدی کیفیت پائین وارد می شود. از سوی دیگر، بدلیل عدم ارائه خدمات پس از فروش و افزایش تقاضا بایستی شرایط لازم برای تولید داخلی این ماشین را فراهم نمود که این تحقیق در همین راستا صورت گرفته است. بنابراین، اهداف تحقیق حاضر عبارت بودند از:

- الف بررسی تاثیر سرعت دورانی محور تیغه ها و سرعت پیشروی روتوتیلر بر درصد خرد شدن خاک و ضخامت لایه بریده شده خاک.
- ب تعیین کارائی دستگاه با آزمون و ارزیابی در شالیزار و باغ.

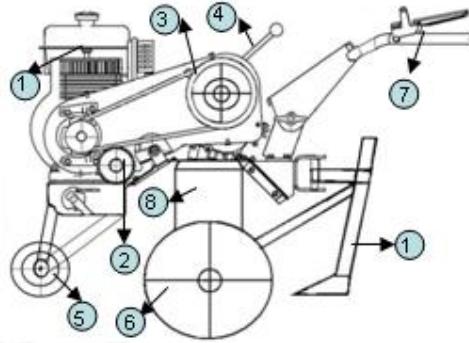
## مواد و روش ها

### مشخصات دستگاه

مشخصات قسمت های اصلی دستگاه روتوتیلر به طور خلاصه در ذیل آورده شده است:

۱ برای طراحی روتوتیلر ابتدا باید قدرت مورد نیاز به ازای واحد عرض کار را مشخص کرد تا بر مبنای عرض کار مورد نظر موتور مناسب را انتخاب نمود. بر اساس استاندارد (RNAM, 1983) به ازای هر ۴۰ cm عرض کار روتوتیلر با در نظر گرفتن ۴ تیغه روی هر فلنج ۲/۲ kw توان مورد نیاز است. این مسئله توسط (Hendrick and Gill, 1971b) به میزان ۰/۷ hp به ازای هر ۱۰ cm عرض کار بیان شده است. بر این اساس، برای روتوتیلری به عرض ۸۰ cm قدرت مورد نیاز موتور حدود ۴/۴ kw بدست آمد. با توجه به موتور های موجود در بازار، از یک موتور هوندا با قدرت ۴/۵ kw و دور موتور ۳۰۰۰ rpm و دور محور خروجی ۱۸۰۰ rpm استفاده شد.

۲ سرعت دورانی مناسب برای محور روتوتیلر در محدوده ۵۰ الی ۱۲۰ دور در دقیقه توصیه شده است (Yatsuk et al., 1981). با توجه به این که دور خروجی محور تواندهی موتور ۱۸۰۰ rpm



(ب)



(الف)

شکل ۴ (الف) روتوتیلر ساخته شده و (ب) شماتیک دستگاه و اجزای آن؛ (۱) موتور، (۲) جعبه دنده، (۳) تسمه و پولی، (۴) دسته دنده، (۵) چرخ حامل جلو، (۶) بشقاب کناری، (۷) دسته هدایت و کنترل

Fig. 1. (a) Developed rototiller, (b) schematic and its components; (1) engine, (2) gearbox, (3) belt and pulley, (4) gear handle, (5) front carrying wheel, (6) side disc and (7) guidance and control handle

$$V = \sqrt{\omega^2 r^2 + V_f^2 - 2V_f \omega r \sin \omega t} \quad (5)$$

رابطه (۵) نشان می‌دهد که سرعت برش خاک تابعی از زمان بوده و تحت تاثیر عوامل سرعت پیشروی ماشین، سرعت دورانی محور تیغه‌ها و شعاع تیغه‌ها قرار می‌گیرد.

رابطه زیر برای ضخامت لایه بریده شده خاک بوسیله تیغه‌های روتوتیلر ارائه شده است که در آن ضخامت لایه خاک بریده شده  $F$ ، ارتباط مستقیم با سرعت پیشروی  $V_f$  و نسبت معکوس با تعداد تیغه‌های روی دیسک محور،  $n$  و سرعت چرخشی محور  $N$  بر حسب دور در دقیقه دارد (Hongeli et al., 2007).

$$x = V_f t + r \cos \omega t \quad (1)$$

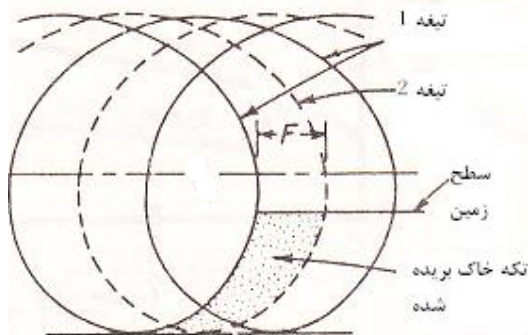
$$y = r \sin \omega t \quad (2)$$

با مشتق‌گیری از رابطه‌های بالا می‌توان سرعت در جهت‌های  $x$  و  $y$  را بدست آورد؛

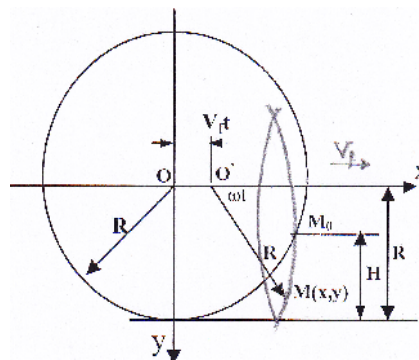
$$\frac{d_x}{d_t} = V_x = V_f - r \omega \sin \omega t \quad (3)$$

$$\frac{d_y}{d_t} = V_y = r \omega \cos \omega t \quad (4)$$

بنابراین سرعت برشی تیغه از رابطه  $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$  بدست می‌آید. با جایگذاری روابط (۳) و (۴) در این رابطه داریم؛



(ب)



(الف)

شکل ۴ (الف) نمودار مسیر حرکت نوک تیغه.  $V_f$ : سرعت پیشروی ماشین،  $\omega$ : سرعت دورانی نوک تیغه،  $H$ : عمق بهم زنی خاک،  $M_0$ : نقطه برخورد نوک تیغه با خاک و شروع برش،  $M(x,y)$ : مختصات نوک تیغه در لحظه  $t$ . (ب) ضخامت لایه بریده شده خاک،  $F$

Fig.2. (A) the trajectory of blade tip.  $V_f$ : machine travel speed,  $\omega$ : rotary speed of blade speed,  $H$ : rototilling depth,  $M_0$ : ground point where blade tip starts cutting soil,  $M(x,y)$ : point of blade tip at time  $t$ . (B) Thickness of soil layer,  $F$

و درصد خرد شدن خاک با استفاده از رابطه زیر بدست آمد (Lee et al., 2003):

$$R_{sb}(\%) = \frac{(W_{ts} - W_{os})}{W_{ts}} \times 100 \quad (۷)$$

که در این رابطه  $R_{sb}$  درصد خرد شدن خاک،  $W_{ts}$  وزن کل خاک در واحد سطح بر حسب گرم و  $W_{os}$  وزن دانه‌های خاک با قطر بیش از ۳۰mm می‌باشد.

ضخامت لایه خاک بریده شده از نظر تئوری برابر است با مقدار جابجائی دو تیغه مجاور در جهت حرکت ماشین که تاثیر مستقیمی بر روی درصد خرد شدن خاک و یکنواختی کف شیار دارد و توسط رابطه (۶) بدست می‌آید. برای اندازه گیری ضخامت لایه خاک بریده شده، با کنار زدن خاک بهم خورده، پروفیل کف شیار مطابق شکل ۲ (ب) دیده می‌شود. فاصله  $F$  که نشان دهنده ضخامت لایه بریده شده خاک توسط یک تیغه است توسط کولیس اندازه گیری می‌شود (Hongeli et al., 2007).

ظرفیت مزرعه‌ای تئوری دستگاه با استفاده از فرمول  $C_t = w \times v / 10$  محاسبه می‌شود، که در آن  $w$ ، عرض کار دستگاه، ۰/۸ m می‌باشد و سرعت پیشروی از  $0.2 \text{ ms}^{-1}$  تا  $0.4 \text{ ms}^{-1}$  متغیر است. بنابراین ظرفیت تئوری دستگاه حدود  $0.06$  الی  $0.12$  هکتار در ساعت بدست آمد. بازده مزرعه‌ای از روش ثبت زمان‌های تلف شده به ازای ۱۰ بار رفت و آمد دستگاه در طول ۲۵ متر که حدود ۳ دقیقه بود محاسبه شد و مقدار آن ۷۸ درصد بدست آمد. سپس ظرفیت مزرعه‌ای واقعی حدود  $0.05$  الی  $0.11$  هکتار در ساعت بدست آمد.

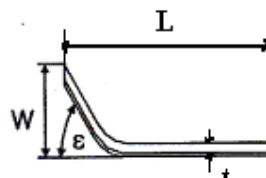
تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با آزمایش فاکتوریل  $3 \times 3$  در سه تکرار انجام گرفت. سه سطح سرعت پیشروی در دنده‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب  $0.2$ ،  $0.3$  و  $0.4$  (بر حسب  $\text{ms}^{-1}$ ) و سه سطح سرعت دورانی تیغه‌ها در همین دنده‌ها به ترتیب ۵۰، ۷۰ و ۱۱۰ (بر حسب rpm) به عنوان نه تیمار و پارامترهای مورد اندازه گیری در چهار سطح شامل ضخامت لایه بریده شده، درصد خرد شدن خاک به میزان کمتر از ۴۰ mm، بین ۴۰mm الی ۸۰ mm و بزرگتر از ۸۰mm در نظر گرفته شد. اثر هر یک از تیمارها و اثرات متقابل آن‌ها توسط نرم افزار spss مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## نتایج و بحث

مطابق جدول (۲)، تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که تاثیر سرعت پیشروی و سرعت دورانی محور تیغه‌های روتوتیلر بر ضخامت لایه بریده شده خاک و درصد خرد شدن ذرات خاک معنی دار است. اثر متقابل این دو فاکتور بر ضخامت لایه بریده شده خاک و درصد

$$F = \frac{V_f}{N.n} \quad (۶)$$

با توجه به رابطه (۶) برای کاهش ضخامت لایه خاک بریده شده می‌توان سرعت پیشروی را کاهش و سرعت دورانی محور تیغه و تعداد تیغه‌ها را افزایش داد و برای افزایش ضخامت لایه برش خاک برعکس آن عمل کرد.



شکل ۳ مشخصات ابعادی تیغه مورد استفاده در روتوتیلر؛ طول تیغه  $L=200 \text{ mm}$ ، عرض تیغه  $W=80 \text{ mm}$ ، زاویه خم شدگی تیغه  $\epsilon=45^\circ$  و ضخامت تیغه  $t=3 \text{ mm}$

Fig. 3. Dimensions of rototiller blade; length=200mm, width=80mm, curvature angle=45° and blade thickness= 3 mm

## آزمون مزرعه‌ای و ارزیابی

پیش از آزمایش دستگاه در مزرعه و برای اطمینان از کارکرد آن، ابتدا در کارگاه دستگاه به مدت نیم ساعت در شرایط بدون بار راه اندازی گردید و کارکرد اجزای آن از لحاظ مکانیکی مورد بررسی قرار گرفت و عیب‌های احتمالی بر طرف گردید. بعلاوه تنظیمات لازم انجام گرفته و دستگاه آماده کار در شرایط مزرعه‌ای گردید. ابتدا در چندین مرحله دستگاه برای آزمایش اولیه به مزرعه منتقل گردید تا علاوه بر بررسی کارکرد دستگاه مهارت کافی در کار با دستگاه بدست آید.

## شرایط آزمایش

آزمون مزرعه‌ای دستگاه در باغ پژوهشی زیتون و مرکبات و مزرعه پژوهشی بروج واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در شه‌ریور ماه صورت گرفت. آزمون در کرت‌های  $25 \times 10 \text{ (m}^2\text{)}$  و نمونه برداری در سه تکرار مطابق استاندارد RNAM, 1983 صورت گرفت. مطابق جدول ۱ برخی خصوصیات فیزیکی خاک از جمله بافت خاک، میانگین ارتفاع علف‌های هرز، رطوبت خاک و جرم مخصوص خاک در باغ و شالیزار در عمق ۱۵۰ mm بدست آمد.

برای انجام آزمایش ابتدا کرت‌های اصلی به سه کرت کوچکتر به ابعاد  $3 \text{ m} \times 25 \text{ m}$  تقسیم شد و در سه دنده مختلف عمل بهم زدن خاک انجام گرفت. در هر مرتبه از عملیات روتوتاتور زنی نمونه گیری از سطح  $300 \times 300 \text{ (mm}^2\text{)}$  و عمق ۷۰ mm در سه تکرار انجام شد

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) مشاهده می‌شود که بهترین ترکیب از فاکتورهای سرعت پیشروی و سرعت دورانی محور تیغه‌ها برای ضخامت لایه برش خاک سرعت پیشروی  $0.4 \text{ ms}^{-1}$  و سرعت دورانی  $50 \text{ rpm}$  می‌باشد که اختلاف معنی داری با بقیه ترکیب‌های این دو فاکتور دارد. بعلاوه، بهترین ترکیب این دو فاکتور برای درصد خرد شدن خاک کمتر از  $40 \text{ mm}$ ، سرعت پیشروی  $0.4 \text{ ms}^{-1}$  و سرعت محور تیغه  $110 \text{ rpm}$ ؛ بین  $40 \text{ mm}$  الی  $80 \text{ mm}$ ، سرعت پیشروی  $0.3 \text{ ms}^{-1}$  و سرعت محور تیغه  $50 \text{ rpm}$  و بزرگتر از  $80 \text{ mm}$  سرعت پیشروی  $0.4 \text{ ms}^{-1}$  و سرعت محور تیغه  $50 \text{ rpm}$  بدست آمد.

اثر هر یک از فاکتورهای سرعت پیشروی و سرعت دورانی تیغه‌ها بر درصد خرد شدن خاک در شکل ۴ مورد بررسی قرار گرفته است. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که درصد خرد شدن خاک بین سطوح سرعت‌های پیشروی و سرعت دورانی محور اختلاف معنی داری وجود دارد و بهترین سرعت پیشروی ماشین و سرعت دورانی محور تیغه‌ها به ترتیب  $0.2 \text{ ms}^{-1}$  و  $110 \text{ rpm}$  بدست آمد.

خرد شدن خاک بویژه برای ذرات کمتر از  $40 \text{ mm}$  معنی دار نیست. ارزیابی‌ها با توجه به درصد خرد شدن خاک نشان داد که برای بدست آوردن دانه بندی ریز خاک (مناسب برای کشت بذرهای ریز مثل سبزیجات و چمن) می‌توان به دو روش عمل کرد، روش اول افزایش سرعت دورانی تیغه‌ها و روش دوم کاهش سرعت پیشروی. البته می‌توان با انجام چند بار عبور در هر ردیف نیز درصد ذرات خرد شده را افزایش داد. برای بدست آوردن دانه بندی درشت (متداول در باغ‌ها و زیر درختان) تعداد عبور را کمتر کرده و سرعت پیشروی را افزایش و یا سرعت دورانی تیغه‌ها را کاهش می‌دهیم.

به منظور بدست آوردن بهترین ترکیب از فاکتورهای سرعت پیشروی و سرعت دورانی تیغه‌ها مقایسه میانگین‌های اثر متقابل این دو فاکتور با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت که نتایج آن در جدول (۳) آورده شده است. نتایج حاصل از تحلیل تئوری ضخامت لایه برش خاک مطابق فرمول (۷) و نتایج آزمایش مزرعه‌ای نشان می‌دهد که اختلاف معنی داری بین میانگین‌های بدست آمده وجود ندارد و برای بدست آوردن نتیجه مطلوب در برش خاک می‌توان از تحلیل تئوری استفاده کرد.

جدول ۱. برخی خواص فیزیکی خاک در عمق  $150 \text{ mm}$

Table 1. Some of the soil physical properties at  $150 \text{ mm}$  depth

بافت خاک (%)	جرم مخصوص خاک ( $\text{kg.cm}^{-3}$ )	رطوبت خاک بر مبنای وزن تر (%)	میانگین ارتفاع علف یا کلش (mm)	فاکتور	
				نوع	زمین
رس سیلت شن					
۳۷٪ / ۲۷٪ / ۳۶٪	۱۷/۲	۱۹	۱۵۰	باغ	
۴۲٪ / ۲۴٪ / ۳۴٪	۸/۷	۳۱/۶	۲۵۰	شالیزار	

هر یک از داده‌ها میانگین سه تکرار می‌باشد

جدول ۲. تجزیه واریانس مربوط به فاکتورهای سرعت پیشروی و سرعت دورانی تیغه‌ها

Table 2. ANOVA related to the forward speed and blade rotational speed

میانگین مربعات			درجه آزادی	منبع تغییرات
ضخامت لایه بریده شده خاک (cm)				
درصد خرد شدن خاک				
۸۰ mm	(۴۰-۸۰) mm	۴۰ mm		
۲/۵۶**	۰/۴ <sup>ns</sup>	۱۰۵/۰۶**	۳۷/۲۱**	سرعت پیشروی ( $\text{ms}^{-1}$ )
۹۶/۳۳**	۸۶/۳**	۵۶۷/۷**	۶۱/۰۵**	سرعت دورانی محور تیغه (rpm)
۱/۱۷**	۲/۴۲**	۴/۸۶ <sup>ns</sup>	۱/۴۶ <sup>ns</sup>	سرعت پیشروی × سرعت دورانی
۰/۱۶۹	۰/۳۱۶	۱/۶۷	۰/۴۶۳	خطا
۳/۸۶	۴/۱۴	۱/۸۶	۱۰/۲۳	ضریب تغییرات (%)

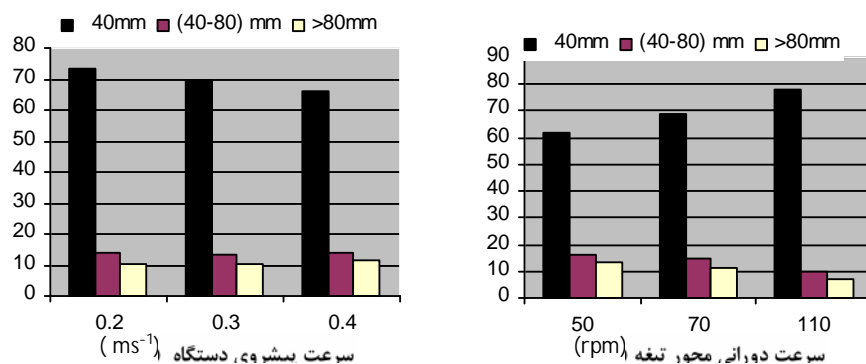
\*\* معنی دار در سطح احتمال ۱٪، <sup>ns</sup> غیر معنی دار

جدول ۳ مقایسه میانگین های اثر متقابل سرعت پیشروی و سرعت دورانی محور تیغه های روتوتیلر بر روی ضخامت لایه برش و درصد خرد شدن خاک

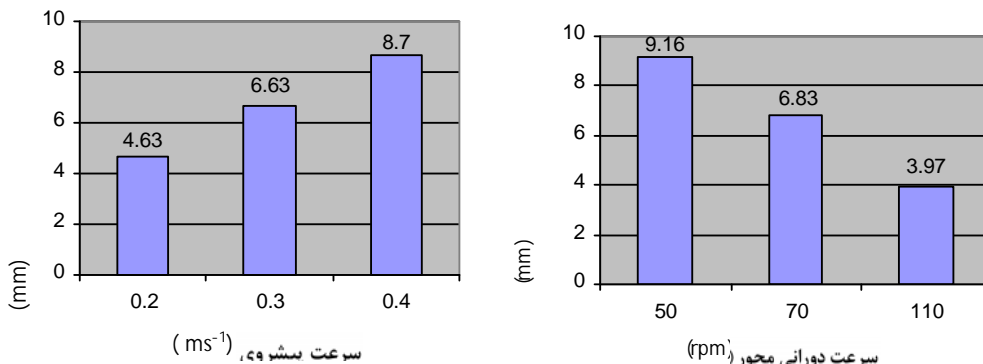
Table 3. Mean comparisons for interaction effect of forward speed and blade rotational speed on the cut layer thickness and soil crushing rate

درصد خرد شدن خاک			ضخامت لایه برش خاک (cm)		سرعت پیشروی (ms <sup>-1</sup> )	سرعت دورانی محور تیغه ها (rpm)
۸۰ mm	(۴۰ ۸۰) mm	۴۰ mm	آزمایشی	تئوری		
۱۳/۳ <sup>b</sup>	۱۵/۶ <sup>bc</sup>	۶۵/۳ <sup>c</sup>	۶/۸ <sup>c</sup>	۶	۵۰	
۱۰/۸ <sup>d</sup>	۱۴/۳ <sup>de</sup>	۷۱/۷ <sup>cd</sup>	۴/۶ <sup>de</sup>	۴/۳	۷۰	۰/۲
۶/۵ <sup>f</sup>	۱۱/۳ <sup>f</sup>	۸۲/۳ <sup>a</sup>	۲/۵ <sup>f</sup>	۲/۷	۱۱۰	
۱۲/۵ <sup>bc</sup>	۱۶/۷ <sup>a</sup>	۶۱/۱ <sup>f</sup>	۸/۹ <sup>b</sup>	۹	۵۰	
۱۱/۸ <sup>c</sup>	۱۴/۱ <sup>e</sup>	۶۹/۶ <sup>d</sup>	۶/۷ <sup>c</sup>	۶/۴	۷۰	۰/۳
۷/۳ <sup>e</sup>	۹/۲ <sup>g</sup>	۷۸/۲ <sup>b</sup>	۴/۳ <sup>e</sup>	۴	۱۱۰	
۱۴/۵ <sup>a</sup>	۱۶/۱ <sup>ab</sup>	۵۹/۵ <sup>f</sup>	۱۱/۸ <sup>a</sup>	۱۲	۵۰	
۱۱/۸ <sup>c</sup>	۱۵/۱ <sup>cd</sup>	۶۶/۳ <sup>e</sup>	۹/۲ <sup>b</sup>	۸/۵	۷۰	۰/۴
۷/۳ <sup>e</sup>	۹/۹ <sup>g</sup>	۷۲/۹ <sup>c</sup>	۵/۱ <sup>d</sup>	۵/۴	۱۱۰	

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم معنی دار بودن تفاوت بین داده های آن ستون است  
مقادیری که زیر آن ها خط کشیده شده است بهترین ترکیب فاکتورها می باشد



شکل ۴ تاثیر سرعت پیشروی ماشین و سرعت دورانی محور تیغه ها بر درصد خرد شدن خاک  
Fig. 4. Effects of machine forward speed and blade rotational speed on the soil crushing rate



شکل ۵ تاثیر سرعت پیشروی ماشین و سرعت دورانی محور تیغه ها بر ضخامت لایه بریده شده خاک  
Fig. 5. Effects of machine forward speed and blade rotational speed on the soil cut layer thickness

داری با بقیه ترکیب‌های این دو فاکتور دارد. بعلاوه، بهترین ترکیب این دو فاکتور برای درصد خرد شدن خاک کمتر از ۴۰ mm، سرعت پیشروی  $0.2 \text{ ms}^{-1}$  و سرعت محور تیغه ۱۱۰ rpm؛ بین ۴۰ mm الی ۸۰ mm، سرعت پیشروی  $0.3 \text{ ms}^{-1}$  و سرعت محور تیغه rpm ۵۰ و بزرگتر از ۸۰ mm، سرعت پیشروی  $0.4 \text{ ms}^{-1}$  و سرعت محور تیغه ۵۰ rpm بدست آمد.

پیشنهاد می‌شود تاثیر عوامل دیگر از جمله شکل تیغه، طول تیغه، انحنای نوک تیغه، تعداد تیغه روی محور در هر ردیف و عرض دستگاه نیز در آزمون‌های مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گیرد و با داده‌های طراحی مقایسه شود. بعلاوه، آزمون در شرایط مختلف بافت و رطوبت خاک تکرار شود.

### سپاسگزاری

از ریاست محترم پژوهشکده برنج و مرکبات به دلیل حمایت کامل مالی این طرح و همچنین از آقایان مهندس علی اصغر باباناسب و حمیدرضا محمودی بخاطر زحمات بی دریغ آن‌ها در ساخت و آزمایش دستگاه تشکر و قدردانی می‌شود.

بعلاوه، تاثیر فاکتورهای سرعت پیشروی و سرعت دورانی تیغه‌ها بر ضخامت لایه بریده شده خاک در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود افزایش سرعت پیشروی منجر به افزایش ضخامت لایه برش خاک و افزایش سرعت دورانی تیغه‌ها موجب کاهش ضخامت لایه برش خاک می‌شود. بعلاوه، بین سطوح این عوامل نیز اختلاف معنی داری وجود دارد.

### نتیجه گیری و پیشنهادات

در این تحقیق پارامترهای اصلی اجزای کاری روتوتیلر مانند سرعت پیشروی و سرعت دورانی تیغه‌ها و تاثیر آن‌ها بر کیفیت عملیات خاک ورزی مورد تحلیل تئوری و عملی قرار گرفت. نتایج این تحلیل‌ها نشان داد که سرعت پیشروی و سرعت دورانی تیغه‌ها بر ضخامت لایه بریده شده خاک و در نتیجه میزان خرد شدن آن تاثیر دارد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌های آزمون دانکن مشاهده شد که بهترین ترکیب از فاکتورهای سرعت پیشروی و سرعت دورانی محور تیغه‌ها برای ضخامت لایه برش خاک سرعت پیشروی  $0.4 \text{ ms}^{-1}$  و سرعت دورانی rpm ۵۰ می‌باشد که اختلاف معنی

### منابع

- 1- Cannel R.Q., and Hawes J.D. 1994: Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil and Tillage Research*, 30, 245-282.
- 2- Hendrick J.G., and Gill W.R. 1971a. Rotary-tiller design parameters. Part I: Transactions of the ASAE, 14, 669-674.
- 3- Hendrick J.G., and Gill W.R. 1971b. Rotary-tiller design parameters. Part II: Transactions of the ASAE, 14, 675-678.
- 4- Honglei J., Chenglin M., and Tong J. 2007. Study on universal blade rotor for rototilling and stubble-breaking machine. *Soil and Tillage Research*, 30, 245-282.
- 5- Koustic S., Filipovic D., and Gospodaric Z. 2001. Rotary cultivator energy requirement influenced by different constructional characteristics, velocity and depth of tillage. *Tillage Research*, 61(3): 232-239.
- 6- Lee K.S., Park S.H., Park W.Y., and Lee C.S. 2003. Strip tillage characteristics of rotary tiller blades for use in dryland direct rice seeder. *Soil and Tillage Research journal* 71: 25-32.
- 7- Olsen P.A., and Boreisen T. 1997. Measuring differences in soil properties with different cultivation practices. *Soil and Tillage Research*, 44, 1-12.
- 8- Regional Network for Agricultural Machinery. 1983. RNAM test codes and procedures for farm machinery. Los Banos, Philippines. 297p.
- 9- Tabatabaee Kolor R., and Kiani Gh. 2006. Tillage for sustainable cropping (Translation). Faraghi Publications, Gorgan, Iran.
- 10- Valinejad A. 1993. Tabellenbuch metal (Translation). Tarrah Publication, Tehran, Iran
- 11- Yatsouk E.P., Panov I.m., Efimov D.N., and Marchenkoc O.S. 1981. Rotary soil working machines. Amerined publishing company. PVT Ltd., New Delhi, India.