تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۰/ شماره ۷۳/ پاییز و زمستان ۱۳۹۸/ص ۹۲-۸۳

اثر رطوبت خاک، سرعت پیشروی و فاصلهٔ بین تیغه‌های خاک‌ورز کج‌ساق بر میزان خرد شدن خاک

علی‌اکبر صلح‌جو[1*] و سیدمنصور علوی‌منش[2]

۱ و ۲- به‌ترتیب استادیار؛ و کارشناس ارشد بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۲۸

چکیده

از عوامل مؤثر بر کارآیی ادوات خاک‌ورزی می‌توان به درصد رطوبت خاک، شکل هندسی تیغه و سرعت پیشروی تراکتور اشاره کرد. برای تعیین تاثیر خاک‌ورز جدید کج‌ساق بر میزان خرد شدن خاک، این پژوهش در قالب طرح آماری کرت‌های دو بار خرد شده با سه تکرار اجرا شد. کرت اصلی، رطوبت خاک شامل ۱۰-۷، ۱۳-۱۰ و ۱۶-۱۳ درصد؛ کرت فرعی، سرعت پیشروی تراکتور شامل ۵، ۷/۵ و ۱۰ کیلومتر در ساعت؛ و کرت فرعی- فرعی، فاصلهٔ بین تیغه‌های کج‌ساق شامل ۱۲، ۱۶ و ۲۰ سانتی‌متر بود. پارامترهای رطوبت خاک، سرعت پیشروی تراکتور و میانگین قطر وزنی ذرات خاک (MWD) اندازه‌گیری شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که سرعت پیشروی تراکتور، فاصلهٔ بین تیغه‌های کج‌ساق و درصد رطوبت خاک در زمان خاک‌ورزی بر میزان MWD مؤثر هستند. با افزایش سرعت پیشروی تراکتور و رطوبت خاک و کاهش فاصله بین تیغه‌های کج‌ساق، میزان MWD کاهش می‌یابد. یافته های این تحقیق نشان می‌دهد که تکنولوژی خاک‌ورز جدید کج‌ساق، پتانسیل افزایش سرعت پیشروی در عملیات خاک‌ورزی را به‌همراه کاهش کلوخه ایجاد شده را دارد و می‌تواند باعث بهبود شرایط کاری و کاهش زمان تهیه بستر بذر شود.

واژه های کلیدی

خاک‌ورزی، خردشدن خاک، شکل هندسی تیغه

مقدمه

با توجه به خشکسالی‌های اخیر نیاز به ساخت دستگاه خاک‌ورزی است تا بتواند در خاک خشک، کلوخهٔ کمتری ایجاد کند. مهم‌ترین قسمت خاک‌ورزها، تیغه‌های آنهاست که شکل هندسی آنها در نیروی کشش مصرفی و میزان خرد شدن خاک حاصل از کارکرد آنها مؤثر است. مطالعات نشان می‌دهد که پارامترهای مؤثر در به‌هم خوردگی خاک شامل: شرایط خاک (بافت، رطوبت و ساختمان خاک)، تنظیمات مزرعه‌ای (سرعت پیشروی و عمق کار) و شکل هندسی (طراحی) شیاربازکن است (Fielke, 1996; Sharifat, 1999; Godwin, 2007; Godwin & O'Dogherty, 2007; Solhjou *et al.*, 2012)

در فرآیند خاک‌ورزی، تیغه‌ها معمولاً خاک را در سه جهت پیشروی، جانبی و عمودی حرکت می‌دهند. شکل هندسی تیغه‌ها از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در حرکت خاک هستند. یکی از مهم‌ترین پارامترهای شکل هندسی شیاربازکن، زاویهٔ تمایل است. زاویهٔ تمایل تیغه روی نیروی

* نگارندهٔ مسئول: Email: a.solhjou@areeo.ac.ir
http://doi: 10.22092/erams.2018.122675.1267

کششی مورد نیاز و شکست خاک مؤثر است (Godwin & Spoor, 1977). افزایش زاویهٔ تمایل باعث کاهش سطح مقطع شیار می‌شود (Payne & Tanner, 1959; Solhjou *et al*., 2012). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که زاویهٔ تمایل بر مخلوط شدن لایه‌های خاک نیز مؤثر است (Solhjou *et al*., 2012).

از دیگر فاکتورهای مهم در طراحی شیاربازکن، شکل ناحیهٔ جلویی تیغه است. روزا و ولفسوهن (Rosa & Wulfsohn, 2008) نشان دادند که تیغه‌هایی که ناحیهٔ جلویی آنها انحنادار است می‌تواند حرکت جانبی خاک و نیروی کشش مصرفی را کاهش دهد. شریفات (Sharifat, 1999) نشان داده است که ایجاد زاویهٔ 45° و انحنادار کردن جلو تیغه، در مقایسه با ایجاد زاویه ۹۰ درجه و سطح صاف جلوی تیغه، باعث کاهش حرکت جانبی خاک و انرژی مصرفی می شود. تحقیقات انجام شده در مخزن خاک نشان داده است که استفاده از شیاربازکن‌های تیغه باریک عمودی با سطح تیز شده از یک طرف یا دو طرف، باعث کاهش معنی‌دار حرکت خاک در جلو و طرفین آن، نسبت به تیغه با سطح صاف، شده ولی اندازهٔ شیار و عمق بحرانی شیار بازکن افزایش یافته است (Solhjou *et al*., 2013).

رطوبت خاک می‌تواند بر میزان نرم‌سازی خاک با ادوات خاک‌ورزی مؤثر واقع شود. در رطوبت‌های پایین، ذرات خاک در اثر بالا بودن نیروی همدوسی به‌هم می‌چسبند و منسجم‌اند و مقاومت زیادی در برابر برش نشان می‌دهند. با افزایش رطوبت، مولکول‌های آب با تجمع بر سطح ذرات خاک، خاصیت همدوسی آنها را کاهش و خاصیت تردی و از همپاشی را در خاک افزایش می‌دهند (Kepner *et al*., 1978). میزان خرد شدن خاک در رطوبت‌های مختلف متفاوت است ولی در رطوبت ۱۸-۱۳ درصد، میزان خرد شدن خاک برای خاک لوم رسی سیلت‌دار در حد قابل قبولی است. تحقیقات روی گاوآهن برگردان‌دار +دیسک نشان داده است که کلوخ‌های بزرگ در رطوبت پایین (۱۲-۱۰ درصد) و کوچک‌ترین آنها در رطوبت بالا (۱۸-۱۶ درصد) به‌دست می‌آید (Solhjou *et al*., 2001). نتایج تحقیقات روی دستگاه روتوتیلر نشان داده است که برای هر دو عمق صفر تا ۱۲/۵ و ۱۲/۵ تا ۲۵ سانتی‌متر، قطر متوسط وزنی ذرات خاک (MWD) در رطوبت ۱۷-۱۵ درصد کمترین و در رطوبت ۹-۷ درصد بیشترین بوده است. گفته شده است که مقدار MWD با افزایش سرعت پیشروی تراکتور، افزایش ولی با افزایش دور محور روتوتیلر کاهش می‌یابد (Solhjou *et al*., 2004).

زیرشکن کج‌ساق برای خاک‌ورزی در عمق زیاد (حدود ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر) و شکستن لایه‌های سخت خاک ساخته شده است (Harrison, 1990; Raoufat & Mashadi- Mighani, 1999; Esehaghbeygi *et al*., 2005).

زیرشکن کج‌ساق با ارتفاع حدود ۷۷ سانتی‌متر و عرضی در حدود ۱۳ سانتی‌متر به گونه‌ای ساخته شده است که خاک‌ورزی را در عمق زیاد انجام دهد (Esehaghbeygi *et al*., 2005). در حالی‌که خاک‌ورز جدید کج‌ساق برای خاک‌ورزی در عمق کم (حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر) و برای کاهش کلوخه در سطح خاک ساخته شده است. ابعاد زیرشکن کج‌ساق بسیار بزرگتر از ابعاد خاک‌ورز جدید کج‌ساق است که باعث می‌شود تا در نهایت زیرشکن کج‌ساق نیروی

کشش بیشتری مصرف کند. از آنجاکه تیغهٔ کج‌ساق تیغه‌ای جدید برای عملیات خاک‌ورزی است و در خصوص تأثیر آن بر میزان خرد شدن خاک در شرایط مختلف رطوبتی خاک، فاصله بین تیغه‌های کج‌ساق و سرعت پیشروی در مزرعه هنوز تحقیقی نشده است، لازم بود تا این تحقیق در شرایط مزرعه اجرا شود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرقان فارس اجرا گردید. زرقان در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۳ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۷ دقیقهٔ شمالی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۱۵ متر و میانگین بارندگی سالیانهٔ آن ۳۴۲ میلی‌متر است. بافت خاک مزرعه آزمایشی در لوم رسی سیلت‌دار است (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مزرعه مورد آزمایش درزرقان فارس

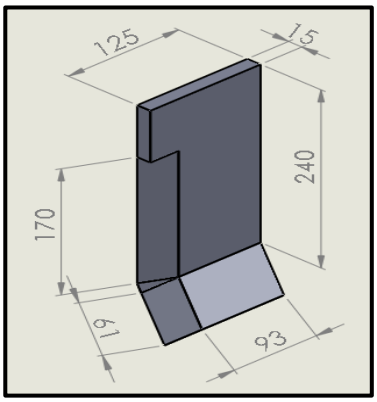
Table 1- Soil characteristics of test field in Zarghan of Fars province

عمق خاک Soil depth (cm)	PH	کربن آلی Organic carbon	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت خاک Soil texture
0-15	8.3	0.84	40.0	43.6	16.4	Silty clay loam لوم رسی سیلت دار
15-30	8.3	0.70	39.0	42.6	18.4	Silty clay loam لوم رسی سیلت دار

این پژوهش در راستای تعیین شرایط بهینهٔ کارکرد خاک‌ورز کج‌ساق و کاهش کلوخهٔ ایجاد شده به‌صورت کرت های دوبار خرد شده با سه تکرار اجرا شد. کرت اصلی، رطوبت خاک در سه سطح ۱۰-۷، ۱۳-۱۰ و ۱۶-۱۳ درصد؛ کرت فرعی، سرعت پیشروی تراکتور در سه سطح ۵، ۷/۵ و ۱۰ کیلومتر در ساعت؛ و کرت فرعی- فرعی فاصلهٔ بین شیاربازکن ها در سه سطح ۱۲، ۱۶ و ۲۰ سانتی‌متر بود. آزمایش‌ها در کرت‌هایی به ابعاد ۵۰ ×۳ متر و در زمین شخم‌نخورده اجرا شد که حجم بقایای گیاهی گندم در آن ۲۵۱۲ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است.

خاک‌ورز کج‌ساق برای کاهش جابه‌جایی خاک طراحی و ساخته شد. در طراحی خاک‌ورز کج‌ساق، برای کاهش نیروی کشش مصرفی و کاهش جابه-جایی خاک، سطح جلویی تیغهٔ آن زاویه‌دار انتخاب و ساق آن به‌صورت خارج از مرکز در نظر گرفته شد (شکل ۱). هفت تیغهٔ کج‌ساق با ضخامت ۱۵ میلی-متر ساخته شد و پس از نصب شدن روی یک شاسی در عمق ۱۲-۱۰ سانتی‌متر به‌کار گرفته شد. فاصله بین تیغه‌ها بر اساس آزمایش‌های اولیه در مزرعه و تاثیر آن بر خرد شدن خاک انتخاب شد.

همزمان با عملیات خاک‌ورزی، رطوبت خاک (بر اساس وزن خشک) از عمق صفر تا ۱۵سانتی‌متر اندازه گیری شد. در فاصلهٔ طولی ۲۰ متر از هر کرت و با استفاده از کرونومتر، زمان مورد نظر اندازه‌گیری و از تقسیم‌کردن مسافت طی شده بر زمان مورد نظر، سرعت پیشروی تراکتور اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- تیغهٔ خاک‌ورز کج‌ساق (واحد بر حسب میلی‌متر است)
Fig. 1- Bent leg blade (unit is based on mm)

با جداسازی خاک با غربال و از عمق ۰ تا ۱۲ سانتی‌متر، میزان خرد شدن خاک بر اثر خاک‌ورز کج‌ساق تعیین شد. غربال کردن روشی است ساده برای اندازه‌گیری دامنهٔ تغییرات اندازهٔ ذرات خاک و تعیین مقدار نسبی خاک در هر یک از اندازه‌ها. مقدار نسبی خاک در هر گروه، به‌صورت وزنی تعیین و سپس نوعی میانگین یا ضریب را محاسبه و به‌عنوان نماینده نحوهٔ توزیع به‌کار گرفته شد. شاخصی که عموماً در این مورد به‌کار گرفته می‌شود میانگین قطر وزنی ذرات خاک (MWD) است. برای محاسبهٔ MWD، قطر متوسط وزنی بین دو غربال متوالی را برای کلوخه‌های بین غربال‌ها و متوسط قطر کلوخه‌های باقیمانده روی غربال بالایی را برای کلوخه‌های بزرگ‌تر از غربال بالایی و قطر ۳/۱۸ میلی‌متر برای سینی آخر و غربال آخری (پایینی) در نظر گرفته شده است که قطر شبکهٔ آن ۶/۳۵ میلی‌متر است. تعداد غربال‌ها ۷ و قطر شبکهٔ غربال‌ها به‌ترتیب از بالا به پایین ۱۰۱/۶۰، ۸۸/۹۰، ۷۶/۲۰، ۵۰/۸۰، ۳۸/۱۰، ۱۲/۷، ۶/۳۵ و صفر میلی‌متر (سینی آخر) است. برای محاسبه MWD از رابطهٔ ۱ استفاده شد (Solhjou *et al.*, 2001).

$$\text{MWD}=\sum_{i=1}^{n}\frac{W_i}{W}\times D_i \qquad (۱)$$

که در آن،

W_i = وزن خاک خرد شده روی غربال مورد نظر (کیلوگرم)؛ W = وزن کل خاک خرد شده در هر نمونه مورد آزمایش (کیلوگرم)؛ و D_i = قطر متوسط شبکهٔ غربال مورد نظر (میلی‌متر).

برای اندازه‌گیری میانگین قطر وزنی ذرات خاک برای هر کرت از یک قاب به ابعاد ۰/۵×۰/۵ متر و با ۲ تکرار در هر کرت و پس از عملیات خاک‌ورزی از عمق ۱۲-۰ سانتی‌متر نمونه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری با نرم‌افزار SAS انجام شد و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن، میانگین‌ها مقایسه شدند.

نتایج و بحث

با کاهش رطوبت خاک مزرعه به‌هنگام خاک‌ورزی، میانگین قطر وزنی ذرات خاک افزایش می‌یابد (جدول ۲). بیشترین میزان MWD با ۱۷/۶۰ میلی‌متر مربوط به رطوبت ۱۰-۷ درصد و کمترین آن با میزان ۱۳/۴۸ میلی متر مربوط به رطوبت ۱۶-۱۳ درصد است. با افزایش رطوبت، مولکول‌های آب بر سطح ذرات خاک جذب می‌شود

و غشایی رطوبتی در اطراف ذرات تشکیل می‌دهد. این غشا موجب کاهش نیروی همدوسی گشته و از استحکام و سختی خاک می‌کاهد و به آن خاصیت تردی می‌دهد. این حالت برای خاک لوم رسی سیلت‌دار زرقان فارس در رطوبت ۱۶-۱۳ درصد ایجاد شده است. انتخاب رطوبت اولیهٔ خاک به‌هنگام خاک‌ورزی اثرگذار در میزان کلوخه‌های ایجاد شده است. به‌طوری‌که خاک‌ورزی در رطوبت ۱۶-۱۳ درصد، نسبت به خاک‌ورزی در رطوبت ۱۰-۷ درصد، قطر وزنی ذرات خاک را به میزان ۲۳/۴ درصد کاهش می‌دهد. دیگر محققان نیز نشان داده‌اند که با کاهش رطوبت خاک، میزان MWD افزایش می‌یابد (Solhjou *et al*., 2001; Solhjou *et al*., 2004; Dehghani & Karparvarfars, 2017).

جدول ۲- مقایسهٔ میانگین قطر وزنی ذرات خاک (MWD) با توجه به درصد رطوبت خاک، سرعت پیشروی و فاصلهٔ بین تیغه‌ها

Table 2- Means comparison of Mean Weight Diameter (MWD) by soil moisture content, forward speed and blade spaces

MWD (mm)	فاصله بین تیغه‌ها Blade spaces (cm)	MWD (mm)	سرعت پیشروی Forward speed (km/h)	MWD (mm)	درصد رطوبت خاک Soil moisture content
14.07[b]	12	15.35[a]	5	17.60[a]	7-10
15.57[a]	16	15.00[ab]	7.5	13.88[b]	10-13
15.33[a]	20	14.62[b]	10	13.48[b]	13-16

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

In each column, means with the same letter have no significant difference (Duncan α= 5%).

جدول ۲ نشان می‌دهد که سرعت پیشروی تراکتور در میزان قطر وزنی ذرات خاک (MWD) حاصل از کارکرد خاک‌ورز کج‌ساق مؤثر است و با افزایش سرعت پیشروی، میزان MWD کاهش می‌یابد. بیشترین میزان MWD با ۱۵/۳۵ میلی‌متر مربوط به سرعت پیشروی ۵ کیلومتر در ساعت و کمترین آن با میزان ۱۴/۶۲ میلی متر مربوط به سرعت پیشروی ۱۰ کیلومتر در ساعت است. این نشان می‌دهد که افزایش سرعت پیشروی از ۵ به ۱۰ کیلومتر در ساعت باعث کاهش ۴/۸ درصدی MWD شده است. دهقانی و کارپرورفرد (Dehghani & Karparvarfars, 2017) نشان داده‌اند که با افزایش سرعت پیشروی تراکتور میزان MWD کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند به‌دلیل تفاوت در شتاب داده شده به ذرات خاک و واکنش خاک در برابر تیغه در سرعت‌های پیشروی مختلف باشد. این یافته نشان می‌دهد که انتخاب سرعت پیشروی مناسب به‌هنگام خاک‌ورزی با خاک‌ورز کج‌ساق، در کاهش میزان کلوخه‌های ایجاد شده در بستر بذر مؤثر است.

با کاهش فاصله بین تیغه‌های خاک‌ورز کج‌ساق، میزان MWD کاهش می‌یابد (جدول ۲). کمترین میزان MWD با ۱۴/۰۷ میلی متر مربوط به فاصلهٔ ۱۲ سانتی‌متر بین تیغه‌های خاک‌ورز کج‌ساق و بیشترین آن با مقادیر ۱۵/۳۳ و ۱۵/۵۷ میلی‌متر، به‌ترتیب مربوط به فاصله‌های ۲۰ و ۱۶ سانتی‌متر است. کاهش فاصله بین تیغه‌های خاک‌ورز کج‌ساق از ۲۰ به ۱۲ سانتی‌متر باعث کاهش ۸/۲ درصدی MWD شده است. کاهش فاصله بین تیغه‌های خاک‌ورز کج‌ساق می‌تواند باعث کاهش میزان MWD شود که ناشی از اثرات متقابل تیغه‌ها بر خاک می‌باشد. از آنجاکه تیغهٔ کج‌ساق طوری

طراحی شده است تا حداقل به‌هم خوردگی خاک را داشته باشد (Solhjou *et al.*, 2014)، کاهش فاصله بین تیغه‌های کج‌ساق به ۱۲ سانتی‌متر توانسته است اثر متقابل تیغه‌ها بر شکستگی خاک را بیشتر کند که نشان می‌دهد تنظیم فاصله بین تیغه‌های خاک‌ورز کج‌ساق در قبل از خاک‌ورزی می‌تواند بر میزان خرد شدن کلوخه ها مؤثر باشد.

اثر متقابل سرعت پیشروی تراکتور و درصد رطوبت خاک مزرعه به‌هنگام خاک‌ورزی بر میانگین قطر وزنی ذرات خاک (MWD) در جدول ۳ قابل مشاهده است. کمترین میزان MWD مربوط به سرعت پیشروی ۱۰ کیلومتر در ساعت و در رطوبت خاک مزرعه ۱۶-۱۳ درصد با میزان ۱۳/۰۰ میلی‌متر است و بیشترین آن با میانگین ۱۷/۷۷ میلی‌متر مربوط به سرعت پیشروی ۵ کیلومتر در ساعت و در رطوبت خاک مزرعه ۱۰-۷ درصد است. در مجموع، بیشترین میزان MWD در رطوبت ۱۰-۷ درصد و در سرعت پیشروی ۵ تا ۱۰ کیلومتر در ساعت و کمترین میزان MWD در رطوبت ۱۶-۱۳ درصد با سرعت پیشروی ۱۰ کیلومتر در ساعت حاصل شده است. این موضوع نشان می‌دهد که تأثیر رطوبت خاک به‌هنگام خاک‌ورزی بر خرد شدن کلوخه‌ها، بیشتر از تاثیر سرعت پیشروی تراکتور است.

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین قطر وزنی ذرات خاک (MWD) با توجه به درصد رطوبت خاک (M) و سرعت پیشروی تراکتور (V)

Table 3- Means comparison of Mean Weight Diameter (MWD) by soil moisture content (M) and forward speed (V)

تیمارها Treatments	M_1V_1	M_1V_2	M_1V_3	M_2V_1	M_2V_2	M_2V_3	M_3V_1	M_3V_2	M_3V_3
MWD (mm)	17.77^{a}	17.58^{a}	17.45^{a}	14.48^{b}	13.75^{bc}	13.41^{c}	13.79^{bc}	13.67^{c}	13.00^{c}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

M1 = رطوبت خاک ۱۰-۷ درصد، M2 = رطوبت خاک ۱۳-۱۰ درصد، M3 = رطوبت خاک ۱۶-۱۳ درصد

V1 = سرعت پیشروی ۵ کیلومتر در ساعت، V2 = سرعت پیشروی ۷/۵ کیلومتر در ساعت، V3 = سرعت پیشروی ۱۰ کیلومتر در ساعت

Means with the same letter have no significant difference (Duncan α= 5%).

M_1 = Soil moisture of 7-10%, M_2 = Soil moisture of 10-13%, M_3 = Soil moisture of 13-16%

V_1 = Forward speed of 5 km/h, V_2 = Forward speed of 7.5 km/h , V_3 = Forward speed of 10 km/h

بیشترین میزان MWD با میانگین ۱۸/۰۶ میلی‌متر مربوط به فاصلهٔ ۱۶ سانتی‌متری بین تیغه‌ها و در رطوبت خاک ۱۰-۷ درصد و کمترین آن با میانگین ۱۲/۳۳ میلی‌متر مربوط به فاصله ۱۲ سانتی‌متری بین تیغه‌ها و در رطوبت خاک ۱۳-۱۰ درصد است (جدول ۴).

جدول ٤- مقایسهٔ میانگین قطر وزنی ذرات خاک (MWD) با توجه به درصد رطوبت خاک (M) و فاصلهٔ بین تیغه‌ها (d)

Table 4- Means comparison of Mean Weight Diameter (MWD) by soil moisture content (M) and blade spaces (d)

تیمارها Treatments	M_1d_1	M_1d_2	M_1d_3	M_2d_1	M_2d_2	M_2d_3	M_3d_1	M_3d_2	M_3d_3
MWD (mm)	17.02^{b}	18.06^{a}	17.73^{ab}	12.33^{g}	15.33^{c}	13.98^{de}	12.85^{fg}	13.31^{ef}	14.29^{d}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

M_1 = رطوبت خاک ۱۰-۷ درصد — d_1 = فاصله ۱۲ سانتی‌متری بین تیغه‌ها

M_2 = رطوبت خاک ۱۳-۱۰ درصد — d_2 = فاصله ۱۶ سانتی‌متری بین تیغه‌ها

M_3 = رطوبت خاک ۱۶-۱۳ درصد — d_3 = فاصله ۲۰ سانتی‌متری بین تیغه‌ها

Means with the same letter have no significant difference (Duncan α= 5%).

M_1 = Soil moisture of 7-10%, M_2 = Soil moisture of 10-13%, M_3 = Soil moisture of 13-16%

d_1 = Blade spaces of 12 cm d_2 = Blade spaces of 16 cm d_3 = Blade spaces of 20 cm

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که برای کاهش MWD در اثر کاربرد خاک‌ورز کج‌ساق، می‌توان فاصله بین تیغه‌های کج‌ساق را ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفت و خاک‌ورزی را وقتی شروع کرد که رطوبت خاک ۱۶-۱۰ درصد باشد.

اثر متقابل سرعت پیشروی تراکتور و فاصلهٔ بین تیغه‌ها در خاک‌ورز کج‌ساق بر میانگین قطر وزنی ذرات خاک (MWD) در جدول ۵ نشان داده شده است. کمترین میزان MWD با میانگین ۱۳/۸۴ میلی‌متر مربوط به فاصلهٔ ۱۲ سانتی‌متری بین تیغه‌ها و سرعت پیشروی ۱۰ کیلومتر در ساعت است. بیشترین آن با میانگین ۱۵/۹۷ میلی‌متر مربوط به فاصله ۲۰ سانتی‌متری بین تیغه‌ها و سرعت پیشروی ۵ کیلومتر در ساعت است. برای کاهش MWD با خاک‌ورز کج‌ساق، می‌توان فاصلهٔ بین تیغه‌ها را ۱۲ سانتی‌متر و سرعت پیشروی تراکتور را ۱۰-۵ کیلومتر در ساعت در نظر گرفت.

جدول ۵- مقایسهٔ میانگین قطر وزنی ذرات خاک (MWD) با توجه به سرعت پیشروی (V) و فاصلهٔ بین تیغه‌ها (d)

Table 5- Means comparison of Mean Weight Diameter (MWD) by forward speed (V) and blade spaces (d)

V_3d_3	V_3d_2	V_3d_1	V_2d_3	V_2d_2	V_2d_1	V_1d_3	V_1d_2	V_1d_1	**تیمارها Treatments**
14.47^{bc}	15.55^{a}	13.84^{c}	15.55^{a}	15.22^{ab}	14.23^{c}	15.97^{a}	15.93^{a}	14.14^{c}	**MWD (mm)**

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

V_1 = سرعت پیشروی ۵ کیلومتر در ساعت، V_2 = سرعت پیشروی ۷/۵ کیلومتر در ساعت، V_3 = سرعت پیشروی ۱۰ کیلومتر در ساعت

d_1 = فاصله ۱۲ سانتی‌متری بین تیغه‌ها، d_2 = فاصله ۱۶ سانتی‌متری بین تیغه‌ها، d_3 = فاصله ۲۰ سانتی‌متری بین تیغه‌ها

Means with the same letter have no significant difference (Duncan α= 5%).

V_1 = Forward speed of 5 km/h

d_1 = Blade spaces of 12 cm, d_2 = Blade spaces of 16 cm, d_3 = Blade spaces of 20 cm

جدول ۶ اثر متقابل فاصلهٔ بین تیغه‌های کج‌ساق، سرعت پیشروی تراکتور و درصد رطوبت خاک مزرعه به‌هنگام خاک‌ورزی بر میانگین قطر وزنی ذرات خاک (MWD) را نشان می‌دهد.

کمترین میزان MWD با میانگین ۱۱/۷۸ میلی‌متر، مربوط به فاصلهٔ ۱۲ سانتی‌متری بین تیغه‌ها و سرعت پیشروی ۱۰ کیلومتر در ساعت و در رطوبت خاک مزرعه ۱۶-۱۳ درصد است. بیشترین میزان MWD با میانگین ۱۸/۷۲ میلی‌متر مربوط به فاصلهٔ ۱۶ سانتی‌متری بین تیغه‌ها و سرعت پیشروی ۵ کیلومتر در ساعت و رطوبت خاک مزرعه ۱۰-۷ درصد است. برای کاهش MWD ایجاد شده با خاک‌ورز کج‌ساق، می‌توان فاصلهٔ بین تیغه‌های کج‌ساق را ۱۲ سانتی‌متر و سرعت پیشروی تراکتور را ۱۰ کیلومتر در ساعت و در محدودهٔ رطوبتی ۱۶-۱۰ درصد در نظر گرفت. بیشترین میزان MWD ایجاد شده با خاک‌ورز کج‌ساق، ۱۸/۷۲ میلی‌متر است که توانسته است شرایط مناسبی را برای تهیه بستر بذر ایجاد نماید. این ویژگی خاک‌ورز کج‌ساق به‌خصوص در شرایط خاک خشک (۱۰-۷ درصد) بیشتر حائز اهمیت است و نشان‌دهنده این موضوع است که خاک‌ورز کج‌ساق می‌تواند برای شرایط خاک خشک نیز کاربرد داشته و شرایط بستر بذر مناسبی را ایجاد نماید. علت آن شکل هندسی خاص تیغه کج‌ساق است که با قسمت خمیده تیز شده خود، خاک را کمتر بهم زده و مخلوط شدن لایه های خاک را نیز کاهش می‌دهد (Solhjou *et al.*, 2014).

این نتایج نشان می‌دهد که شکل هندسی تیغه خاک‌ورز تاثیر مهمی در عملیات خاک‌ورزی و کاهش کلوخه‌های ایجاد شده دارد.

جدول ٦- مقایسه میانگین قطر وزنی ذرات خاک (MWD) با توجه به رطوبت خاک (M)، سرعت پیشروی (V) و فاصله بین تیغه‌ها (d)

Table 6- Means comparison of Mean Weight Diameter (MWD) by soil moisture content (M), forward speed (V) and blade spaces (d)

MWD (mm)	تیمارها Treatments
16.20^{cd}	$M_1V_1d_1$
18.72^{a}	$M_1V_1d_2$
18.39^{ab}	$M_1V_1d_3$
17.04^{bc}	$M_1V_2d_1$
18.01^{ab}	$M_1V_2d_2$
17.71^{ab}	$M_1V_2d_3$
17.82^{ab}	$M_1V_3d_1$
17.45^{abc}	$M_1V_3d_2$
17.09^{bc}	$M_1V_3d_3$
12.46^{fg}	$M_2V_1d_1$
15.34^{d}	$M_2V_1d_2$
15.64^{d}	$M_2V_1d_3$
12.62^{fg}	$M_2V_2d_1$
15.16^{de}	$M_2V_2d_2$
13.47^{f}	$M_2V_2d_3$
11.92^{g}	$M_2V_3d_1$
15.49^{d}	$M_2V_3d_2$
12.83^{fg}	$M_2V_3d_3$
13.76^{ef}	$M_3V_1d_1$
13.74^{ef}	$M_3V_1d_2$
13.88^{ef}	$M_3V_1d_3$
13.02^{fg}	$M_3V_2d_1$
12.50^{fg}	$M_3V_2d_2$
15.48^{d}	$M_3V_2d_3$
11.78^{g}	$M_3V_3d_1$
13.71^{ef}	$M_3V_3d_2$
13.50^{f}	$M_3V_3d_3$

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

In each column, means with the same letter have no significant difference (Duncan α= 5%).

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی به‌عمل آمده مشخص شد که فاصله بین تیغه‌های کج‌ساق، سرعت پیشروی تراکتور و درصد رطوبت خاک در زمان خاک‌ورزی بر میزان قطر وزنی ذرات خاک (MWD) مؤثر هستند. با افزایش سرعت پیشروی و رطوبت خاک در زمان خاک‌ورزی، قطر وزنی ذرات خاک (MWD) کاهش یافته است. همچنین با کاهش فاصله بین تیغه‌های خاک‌ورز کج‌ساق، میزان MWD کاهش یافته است. بنابراین برای کاهش کلوخه ایجاد شده به‌وسیله خاک‌ورز کج‌ساق، می‌توان فاصله بین تیغه‌های کج‌ساق را ۱۲ سانتی‌متر و سرعت پیشروی تراکتور را ۱۰ کیلومتر در ساعت و در محدوده رطوبتی ۱۶-۱۰ درصد استفاده نمود. خاک‌ورز کج‌ساق با قابلیت افزایش سرعت پیشروی تراکتور، می‌تواند ضمن کاهش کلوخه ایجاد شده در بستر بذر، زمان انجام عملیات خاک‌ورزی در مزرعه را نیز کاهش دهد. این موضوع می‌تواند ضمن کاهش زمان تهیه بستر بذر، باعث کاهش هزینه های تهیه بستر بذر برای کشاورزان نیز گردد.

مراجع

Dehghani, M., & Karparvarfars, S. H. (2017). Optimizing of chisel tine operation used in combined tillage machine. *Iranian Journal* of *Biosystems Engineering* (*Iranian Journal of Agricultural Sciences), 47*(4): p. 651-658.

Esehaghbeygi, A., Tabatabaeefar, A., Keyhani, A. R., & Raoufat, M. H. (2005). Depth and rake angle's influence on the draft force of an oblique blade subsoiler. *Iran Agricultural Research, 36*(4): p. 1045-1052. (in Persian)

Fielke, J. M. (1996). Interactions of the cutting edge of tillage implements with soil. *Journal of Agricultural Engineering Research, 63*(1): p. 61-72.

Godwin, R. J. (2007). A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil and* Tillage *Research, 97*(2): 331-340.

Godwin, R. J., & Spoor, G. (1977). Soil failure with narrow tine. *Journal of Agricultural Engineering Research, 22*(3): p. 213-228.

Godwin, R. J., & O'Dogherty, M. J. (2007). Integrated soil tillage force prediction models. *Journal of Terramechanics*, 44(1): p. 3-14.

Harrison, H. P. (1990). Soil reacting force for two tapered bentleg plow. *Transactions of the ASAE, 33*(5): p. 1473-1476.

Kepner, R. A., Bainer, R., & Barger, E. L. (1978). *Principles of Farm Machinery*. The AVI Publishing Company.

Payne, P. C. J., & Tanner, D. W. (1959). The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. *Journal of Agricultural Engineering Research, 4*(4): p. 312-325.

Raoufat, M. H., & Mashadi-Mighani, H. (1999). Apropriate tine spacing of a double bent leg plow for better tillage and efficient performance. *Iranian Journal of Agricultural Science, 30*(2): p. 319-330. (in Persian)

Rosa, U. A., & Wulfsohn, D. (2008). Soil bin monorail for high-speed testing of narrow tillage tools. *Biosystems Engineering, 99*(3): p. 444-454.

Sharifat, K. (1999). Soil translocation with tillage tools (Ph. D. Thesis) Agriculture and Bioresource Engineering. University of Saskatoon.

Solhjou, A., Desbiolles, J., & Fielke, J. (2013). Soil translocation by narrow openers with various blade face geometries. *Biosystems Engineering, 114*(3): p. 259-266.

Solhjou, A., Fielke, J., & Desbiolles, J. (2012). Soil translocation by narrow openers with various rake angles. *Biosystems Engineering, 112*(1): p. 65-73.

Solhjou, A., Fielke, J., Desbiolles, J., & Saunders, C. (2014). Soil translocation by narrow openers with various bent leg geometries. *Biosystems Engineering, 127*, p. 41-49.

Solhjou, A., Loghavi, M., Ahmadi, H., & Roozbeh, M. (2001). The effect of moisture content and plowing depth on soil pulverization and reduction of secondary tillage. *Journal of Agricultural Engineering Research, 6*, p. 1-12. (in Persian)

Solhjou, A., Loghavi, M., & Joukar, L. (2004). Effect of soil moisture content, forward speed and rotary speed of rototiller on soil pulverization. *Journal of Research in Agricultural Science, 1*, p. 57-70. (in Persian)

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.20/No.73/ Autumn & Winter 2020/P: 83-92

Effect of Soil Moisture Content, Forward Speed and Bent Leg Blade Spaces on Soil Pulverization

A. Solhjou* and S. M. Alavimanesh

* Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran. Email: amsolhjou@yahoo.com

Received: 6 August 2018, Accepted: 9 December 2018

Abstract

The factors influencing the efficiency of tillage tools are such as soil moisture content, tool geometry and forward speed. This study was a split- split plot experimental design with three replications to determine the effect of new bent leg tillage on soil pulverization. Treatments were three soil moisture content levels of 7-10, 10-13 and 13-16 as the main plots, three forward speeds of 5, 7.5 and 10 km/h as the sub-plots and three blade spaces of 12, 16 and 20 cm as the sub-sub-plots. In this research, the effect of bent leg tillage on soil moisture content, forward speed and clod mean weight diameter (MWD) were studied. Results indicated that forward speed, shank spaces and soil moisture content during tillage affected MWD. Increasing forward speed and soil moisture content during tillage and also reducing blade spaces reduced MWD. The findings show that the technology of the new bent leg tillage has the potential to increase forward speed during tillage operation with reducing MWD. Also, it can improve work-rate and reduce the time of seed-bed preparation.

Key words: Tillage, Tool geometry, Soil pulverization