

## تأثیر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر مصرف سوخت و مقاومت کششی چند نوع تیغه کولتیواتور

صداقت فاضلی، یوسف عباسپور گیلانده\*، غلامحسین شاهقلی و زرغام فاضل نیاری\*\*

\* نگارنده مسئول: گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.  
تلفن: ۰۴۵)۳۳۵۲۳۰۰۸، پیام‌نگار: abbaspour@uma.ac.ir

\*\* به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد؛ استاد؛ و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی؛ و مربی پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱

### چکیده

بازده کششی و مصرف سوخت از پارامترهای مهم در عملیات کشاورزی و به‌خصوص خاک‌ورزی است که ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند. بررسی عواملی که بر میزان بازده کششی و مصرف سوخت تراکتورهای مزرعه‌ای تأثیرگذار هستند، اهمیت ویژه‌ای دارد. از میان این عوامل می‌توان به سرعت پیشروی تراکتور و عمق خاک‌ورزی اشاره کرد. در این تحقیق برای مقایسه آماری مقدار مقاومت کششی و مصرف سوخت سه نوع تیغه کولتیواتور (پنجه غازی مسطح، پنجه غازی و قلمی)، آزمایش‌های مزرعه‌ای در خاک شنی لومی در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی و با سه تکرار اجرا شد. اثر سرعت پیشروی در سه سطح ۳، ۶/۵ و ۹ کیلومتر بر ساعت و عمق کاری در دو سطح ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر انتخاب گردید. در داخل هر کرت آزمایشی مقاومت به کشش ادوات خاک‌ورز، مصرف سوخت، شاخص مخروطی خاک، سطح گسیختگی خاک و درصد رطوبت خاک اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیرات اصلی نوع تیغه، سرعت پیشروی و عمق کار بر مقاومت کششی و میزان مصرف سوخت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. با مقایسه مقاومت کششی و مصرف سوخت تیغه‌ها در سرعت‌های پیشروی متفاوت و در نظر داشتن بافت نسبتاً سبک خاک مزرعه، استفاده از تیغه پنجه غازی با بازوی خمیده در سرعت پیشروی سه کیلومتر بر ساعت، مناسب‌تر است.

### واژه‌های کلیدی

سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی، کولتیواتور، مصرف سوخت، مقاومت کششی

### مقدمه

روش‌هایی گوناگون برای کنترل علف‌های هرز وجود دارد مانند وجین دستی، کولتیواتور زدن، مبارزه شیمیایی و شعله افکنی. برخی از این روش‌ها به‌دلیل هزینه بسیار بالایی که دارند و برخی دیگر به‌علت تأثیرات مضرشان بر حیات انسان و سایر موجودات زنده و پیامدهای زیانبارشان، در صورت کاربرد بیش از حد آنها، محدود

برای به‌دست آوردن بازده بیشتر در عملیات کشاورزی، پارامترهای زیادی سهمیم هستند که مبارزه با عوامل تهدیدکننده حیات بذر و گیاه در دوره رشد، از اصلی‌ترین آنها به‌شمار می‌رود. اگر به این اصل مهم توجه نشود، آفات و بیماری‌ها می‌توانند کل کشت را نابود کنند.

گزارش‌هایی از روند تغییرات مقاومت کششی ابزارهای خاک‌ورزی با تغییر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی ارائه شده است؛ الجنوبی و السوهیبانی (Al-janobi & Al-Suhaibani, 1998) تأثیرات عمق خاک‌ورزی و سرعت پیشروی را بر نیروی کشش گاواهن برگردان‌دار، دیسک و قلمی، در خاک شنی لومی ارزیابی کردند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که نیروی کشش برای تمامی ادوات با افزایش سرعت پیشروی و عمق کار، افزایش می‌یابد و نیز اینکه گاواهن برگردان‌دار و قلمی به ترتیب بیشترین و کمترین نیروی کشش ویژه را دارند.

السوهیبانی و قالی (Al-Suhaibani & Ghaly, 2010)، با بررسی تأثیر عمق شخم و سرعت پیشروی بر عملکرد گاواهن قلمی با اندازه متوسط در خاک شنی به این نتیجه رسیدند که افزایش عمق کار و سرعت پیشروی باعث افزایش نیروی کشش و نیروی کشش ویژه (نیرو بر واحد سطح شخم) عمودی می‌شود.

عباسپورگیلانده و همکاران (Abbaspour-Gilandeh *et al.*, 2016) در تحقیقی به بررسی عوامل مؤثر بر مقاومت کششی یک زیرشکن با بازوی خمیده پرداختند، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش سرعت پیشروی و عمق شخم، نیروی کششی افزایش می‌یابد.

بیس واس و همکاران (Biswas *et al.*, 2000) شکل مناسب تیغه کولتیواتور را به منظور کاربرد آن در وجین‌کن‌های دامی به دست آوردند، چهار نوع تیغه شامل لبه مستقیم، مثلثی، منحنی شکل و پنجه‌غازی تخت را از نظر نیروی کششی لازم ارزیابی و اعلام کردند که نوع پنجه‌غازی تخت به حداقل نیروی کششی نیاز دارد، نفوذ آن در خاک بهتر است، و علف‌های هرز را بهتر برش می‌دهد. روهیت و همکاران (Rohit *et al.*, 2006) روی نیروی کشش ابزارهای خاک‌ورزی مرکب تحقیق و از کولتیواتور تیغه‌ی قلمی به همراه دیسک در سه عمق کاری (۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر)، چهار سطح سرعت (۱/۲،

شده‌اند. از طرفی، روش‌های مبارزه مکانیکی در اکثر کشورها جایگزین روش‌های مبارزه شیمیایی شده‌اند. در این باره ضروری است که در هر منطقه با شناخت نوع علف‌های هرز و آفات آن منطقه، تدابیر لازم به‌خصوص در جهت مبارزه مکانیکی اندیشیده شود.

گذشته از شناخت ابزار سازگار با منطقه و طراحی آنها، با توجه به پیشرفت روزافزون ادوات و ماشین‌های کشاورزی، مشکل بحران انرژی و محدودیت منابع تجدیدناپذیر همچنان باقی است. کاربرد ابزار مرتبط با خاک غالباً نیازمند صرف انرژی بسیار بالایی است که مدیریت بهینه این انرژی کمک شایانی به صرفه‌جویی در انرژی و به تبع آن صرفه‌جویی در هزینه‌ها را در پی خواهد داشت. انتخاب و اتصال مناسب تراکتور و ادوات برای اجرای عملیاتی مشخص موجب خواهد شد کاهش قابل توجهی در مصرف سوخت، هزینه مالکیت و کارکرد ادوات خواهد داشت.

نیروی کشش نشان‌دهنده مقدار نیروی مورد نیازی است که باید از طرف تراکتور به ادوات خاک‌ورز وارد شود. اندازه‌گیری نیروهای لازم برای برش خاک به‌هنگام خاک‌ورزی، یکی از اهداف اصلی بسیاری از تحقیقات در زمینه خاک‌ورزی و دینامیک خاک است. مؤلفه‌های افقی برش و کشش توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است زیرا این مؤلفه‌ها ارتباطی مستقیم با توان مورد نیاز برای خاک‌ورزی و نیز اندازه تراکتور مورد نیاز برای کشیدن ادوات خاک‌ورزی دارند (Abbaspour-Gilandeh *et al.*, 2016).

مقاومت کششی ابزارهای خاک‌ورزی در شرایط گوناگون به‌طور گسترده تغییر می‌کنند که از آن جمله می‌توان به نوع و شرایط خاک، سرعت شخم زدن، نوع وسیله خاک‌ورز و شکل آن، خصوصیات اصطکاکی ابزار درگیر با خاک، تیزی تیغه و شکل آن، عمق شخم اشاره کرد (Abbaspour-Gilandeh *et al.*, 2016).

این عوامل هستند، بنابراین، مصرف سوخت تراکتور در سنجش‌های مختلف ثابت باقی نمی‌ماند و در اندازه‌گیری‌های متفاوت تغییر می‌کند.

علیمردانی (Alimardani, 1987) در سامانه‌ای که برای اندازه‌گیری کامپیوتری و ثبت عوامل مؤثر کارایی تراکتورها طراحی کرده بود، برای سنجش و نمایش میزان جریان سوخت مصرفی تراکتور از دو دبی‌سنج با چرخ‌دنده بیضی‌شکل مدل (LS-4150) استفاده کرد. محدوده مناسب اندازه‌گیری آنها ۲ تا ۴۰ لیتر در ساعت و دقت کاری آنها  $\pm 1$  درصد بود که به‌ازای عبور هر سانتی‌متر مکعب سوخت یک پالس فرستاده می‌شد. برای اندازه‌گیری سوخت مصرف شده در موتور، یکی از حسگرها بین فیلتر سوخت و پمپ انژکتور و حسگر دیگر در محل برگشت سوخت از انژکتورها به مخزن سوخت قرار داده شد. تفاوت میزان سوخت عبوری از هر یک از حسگرها، نشان‌دهنده سوخت مصرفی موتور بود.

هانسون و همکاران (Hanson et al., 2003) روشی را برای اندازه‌گیری اثر بارهای ناپایدار در بهره‌وری سوخت تراکتورهای کشاورزی بررسی کردند. این محققان برای اندازه‌گیری مصرف سوخت تراکتور Valtra 6650 سامانه‌ای در نظر گرفتند متشکل از نوعی حسگر جریان (VAF M31C) شامل چهار پیستون شعاعی با یک رمزگذار پالس افزایشی متصل به میل‌لنگ بود؛ دقت این سامانه ۰/۵ درصد در محدوده کاری صفر تا ۴۰ لیتر بر ساعت است.

بدری و الهاشم (Bedri & Al-Hashem 2006) از سامانه‌ای سنجشی استفاده کردند که می‌توانست پارامترهای متغیر را در عملیات مزرعه اندازه‌گیری کند. این سامانه روی یک تراکتور فیات مدل DT980 نصب شده بود. میزان جریان سوخت با یک حسگر دبی سنج نوع توربینی (RS 256-225) اندازه‌گیری می‌شد که محدوده مناسب کاری آن ۳ تا ۹۰ لیتر بر ساعت بود و

۲/۲، ۳/۲ و ۴/۲ کیلومتر بر ساعت) استفاده کردند. نتایج بررسی‌های این محققان نشان می‌دهد که با افزایش عمق و سرعت پیشروی، نیروی کشش نیز افزایش می‌یابد.

مویتری و همکاران (Moitzi et al., 2013) در تحقیقی به‌منظور بررسی اثر سامانه‌های خاک‌ورزی و مکانیزاسیون بر مدت زمان اجرای شخم و میزان مصرف سوخت و انرژی به‌ازای واحد خاک جابه‌جا شده، از کولتیواتور و گاوآهن برگردان‌دار استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که با به‌کارگیری کولتیواتور، به‌جای گاوآهن برگردان‌دار، مدت زمان عملیات شخم کوتاه‌تر است و میزان سوخت و انرژی مصرف شده به‌ازای واحد خاک جابه‌جا شده، بیش از ۵۰ درصد کاهش می‌یابد.

لیسوفسکی و همکاران (Lisowski et al., 2016) برای بررسی اثر عرض و بازوی تیغه بر مقاومت کششی و برهم‌زدگی خاک، عملکرد تیغه پنجه‌غازی با عرض‌های متفاوت (۱۰۵، ۱۳۳ و ۲۰۲ میلی‌متر) را در اثر استفاده از دو نوع بازوی s شکل (انعطاف‌پذیر و سخت) در شرایط آزمایشگاهی و در مخزن خاک با خاک لومی در رطوبت ۱۰ و ۱۴ درصد بر پایه تر، با میانگین شاخص مخروطی ۴۸۶ کیلو پاسکال و در عمق‌های ۳۰، ۵۰ و ۷۰ میلی‌متر و در سرعت پیشروی ۰/۸۴، ۱/۶۷ و ۲/۳۱ متر بر ثانیه آزمودند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که نیروی کشش و سطح خاک برهم‌خورده به‌واسطه بازوی انعطاف‌پذیر، در مقایسه با بازوی سخت، به‌ترتیب ۲۴ و ۳۶ درصد کمتر به‌دست می‌آید که دلیل آن راکمتر بودن زاویه مکش تیغه‌ها<sup>۱</sup> در اثر استفاده از بازوی سخت گفته‌اند.

در عملیات خاک‌ورزی پارامترها زیادی وجود دارد که می‌توانند بر مصرف سوخت تراکتور اثر گذارند. نوع و ساختمان خاک، شرایط آب و هوایی، رطوبت هوا، نوع تراکتور (دو یا چهارچرخ محرک)، اندازه تراکتور، رابطه بین تراکتور و وسیله متصل به آن، و نیروی محرک تراکتور از

گاوآهن برگردان‌دار و دیسک، با افزایش عمق کار، مصرف ویژه سوخت در واحد سطح به‌صورت خطی افزایش می‌یابد؛ اما در مورد زیرشکن این رابطه به‌صورت درجه دو است. در تمامی عمق‌ها، لغزش چرخ موجب افزایش مصرف سوخت و کاهش عملکرد ظرفیت مزرعه‌ای شده است. همچنین، افزایش سرعت موتور از ۱۵۱۳ به ۲۰۴۲ دور در دقیقه، موجب افزایش ۸۰ درصد در مصرف سوخت - بر حسب لیتر بر ساعت- و افزایش ۳۵ درصد در مصرف ویژه سوخت بر حسب لیتر بر هکتار - شده است.

با توجه به نبود تحقیق در خصوص اندازه‌گیری مصرف سوخت و نیروی کشش تیغه‌های کولتیواتور مورد استفاده در کشور و ضرورت توجه به صرفه‌جویی انرژی و زمان در عملیات کشاورزی، در تحقیق حاضر اثر تغییر در سرعت پیشروی تراکتور و عمق خاک‌ورزی بر نیروی مقاوم کششی و نیز بر مصرف سوخت تراکتور در عملیات وجین، با تیغه‌های کولتیواتور، بررسی شده است.

### مواد و روش‌ها

ادوات خاک‌ورز و ابزارهای اندازه‌گیری به‌کار گرفته شده در تحقیق

انواع و شکل‌هایی مختلف از تیغه کولتیواتور در کشور ما وجود دارد که تمامی آنها علاوه بر کنترل علف‌های هرز، برای نرم کردن خاک بین دو ردیف و سله‌شکنی مناسب هستند اما هریک، بسته به شرایط، دارای مزایا و معایبی است و در عملیات خاک‌ورزی و وجین کاری کاربرد خاص خود را دارد. متداول‌ترین نوع، تیغه قلمی است که از آن عموماً برای خاک‌ورزی در عمق بیشتر و در خاک‌های سخت استفاده می‌شود ضمن اینکه در خاک‌های بقایای گیاهی نسبتاً کم نیز به‌کار می‌رود. تیغه پنجه‌غازی نوع دیگری از تیغه‌های کولتیواتور است که در ابعاد مختلف عرضه می‌شود و کارایی خاص خود را دارد؛ تیغه‌های پنجه‌غازی کم‌عرض

به‌ازای عبور هر لیتر جریان سوخت از خود ۷۰۰۰ پالس در خروجی خود نشان می‌داد.

فتح‌اله‌زاده و همکاران (Fathollahzadeh *et al.*, 2010) اثر تغییرات عمق شخم گاوآهن برگردان‌دار سه خیش را بر میانگین مصرف و مصرف لحظه‌ای سوخت تراکتور جاندیر مدل ۳۱۴۰ با توان ۷۲/۳ کیلو وات بررسی کردند. سامانه سنجشی که در تحقیق این محققان طراحی و ساخته شده بود شامل مدارای الکترونیکی برای دریافت و ذخیره‌سازی پالس‌های دیجیتالی فرستاده شده از سوی حسگرهای دبی سنج بود. یکی از حسگرها که در مسیر جریان ورودی به پمپ انژکتور نصب شده بود دبی سنج نوع توربینی (VISION2000) بود که ۶۹۰۰ پالس برای عبور هر لیتر سوخت از خروجی آن می‌فرستاد و محدوده کاری آن ۰/۳ تا ۵ لیتر در دقیقه بود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که گاوآهن برگردان‌دار سه خیش مورد استفاده، در اتصال به تراکتور هنگام کار در سه عمق کاری ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ متر، به‌ترتیب ۲۷/۴۴۶، ۳۰/۰۹۶ و ۳۴/۰۶ لیتر در هکتار سوخت مصرف می‌کند. یعنی با افزایش عمق کاری گاوآهن از ۰/۱۵ به ۰/۲۵ متر، میزان مصرف سوخت ۹/۶۶ درصد افزایش می‌یابد در صورتی‌که افزایش عمق از ۰/۱۵ به ۰/۳۵ متر مصرف سوخت ۲۴/۱ درصد افزایش یافته است.

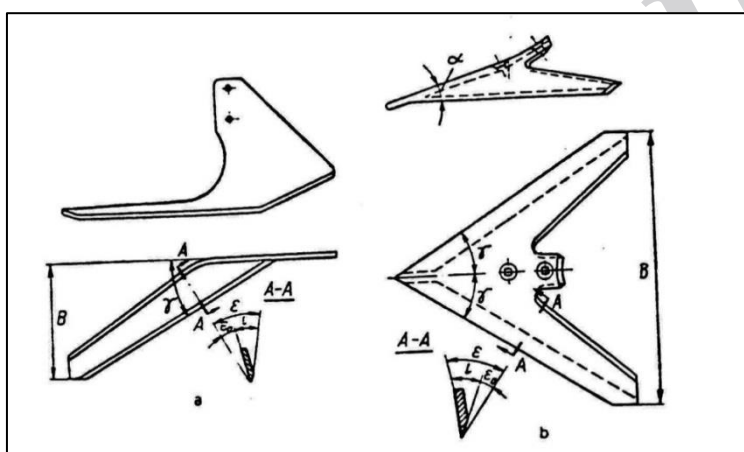
مویتزی و همکاران (Moitzi *et al.*, 2014) در تحقیقی به بررسی تأثیر عمق کار و لغزش چرخ بر مصرف سوخت تراکتور پرداختند. این محققان از یک تراکتور چهار چرخ محرک استفاده کردند که به سیستم اندازه‌گیری دور موتور، سرعت پیشروی و مصرف سوخت مجهز شده بود. دبی‌سنج مورد استفاده از نوع (PLU 116H) بود با دقت اندازه‌گیری ۰/۳ درصد در محدوده کاری ۰/۳ تا ۶۰ لیتر بر ساعت. ادوات مورد آزمایش شامل گاوآهن برگردان‌دار، دیسک، کولتیواتور و زیرشکن بود. این محققان می‌گویند در اثر استفاده از

تأثیر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر مصرف سوخت...

وامی دارد تا وجین کاری را با سرعت بیشتر و مدت زمان کمتری انجام دهند، همین امر موجب شد تا متخصصان کشاورزی با توجه به مشکلات موجود در منطقه، به دنبال طراحی و ساخت کولتیواتور ردیفی با تیغه پنجه‌غازی مسطح باشند. در شکل ۱، زاویه‌ها و پارامترهای اصلی طراحی تیغه پنجه‌غازی مسطح نشان داده شده که تعیین کننده شکل اصلی تیغه و نحوه عملکرد آن است. (Abbaspour Gilandeh *et al.*, 2011).

(۱۱۴ تا ۱۶۵ میلی‌متر) را برای تهیه بستر بذر و انواع پهن‌تر (۲۲۹ تا ۲۹۲ میلی‌متر) را عمدتاً برای از بین بردن علف‌های هرز به کار می‌برند که در حضور بقایای گیاهی نسبتاً زیاد عملکرد مطلوبی دارند.

بافت سنگین بیشتر خاک‌های منطقه، تیغه‌های مورد استفاده کشاورزان را با مشکل نفوذ در خاک مواجه می‌کند، همچنین وسعت زیاد زمین‌های زیر کشت محصولات ردیفی در منطقه، کشاورزان را



شکل ۱- زاویه‌های مختلف طراحی تیغه پنجه‌غازی مسطح (Abbaspour-Gilandeh *et al.*, 2011)

متصل به دیتالاگر DT800 برای جمع‌آوری داده‌های اندازه‌گیری شده با مبدل‌های ذکر شده به کار گرفته شد. یک دستگاه نفوذسنج مخروطی پشت تراکتوری سوار به کار گرفته شد تا مقاومت به نفوذ در خاک اندازه‌گیری شود. دستگاه نفوذسنج به اتصال سه نقطه تراکتور مسی فرگوسن مدل MF-285 متصل شد به گونه‌ای که راننده می‌توانست آن را به کار اندازد و کنترل کند. این سیستم اندازه‌گیری مشتمل است بر: یک مخروط استاندارد، حسگر اندازه‌گیری عمق نفوذ مدل DP-500D ساخت شرکت Tokyo Sokki Kenkyujo با حساسیت  $2 \times 10^{-6}$ ، مبدل اندازه‌گیری نیروی S شکل مدل DBBP ساخت شرکت Tokyo Sokki Kenkyujo با حساسیت ۳ میلی ولت بر ولت، و سیستم جمع‌آوری داده (Abbaspour-Gilandeh *et al.*, 2010).

در آزمایش‌های مزرعه‌ای، به منظور مقایسه نیروی مقاوم کششی و مصرف سوخت کولتیواتورهای متداول در وجین کاری‌ها، سه نوع کولتیواتور تک شاخه با تیغه‌های مختلف به کار گرفته شد (جدول ۱).

شکل ۲، تراکتور و ابزارهای اندازه‌گیری مورد استفاده در تحقیق را نشان می‌دهد. از یک تراکتور مسی فرگوسن مدل MF-285، ۷۵ اسب بخار و مجهز به سامانه اندازه‌گیری دقیق برای جمع‌آوری داده‌های مرتبط با مصرف سوخت، مقاومت کششی و سرعت پیشروی در حین خاک‌ورزی استفاده شد. سیستم اندازه‌گیری دقیق تراکتور مجهز به حسگرهای دبی‌سنج، دینامومتر اتصال سه نقطه، حسگر اندازه‌گیری سرعت پیشروی از نوع چرخ پنجم و سیستم جمع‌آوری داده است. یک رایانه کیفی

جدول ۱- مشخصات تیغه‌های کولتیواتور مورد آزمایش

تیغه قلمی	
	
<p>نوع بازو: نیمه راست و سخت                      طول بازو: ۶۰ سانتی‌متر                      وزن تیغه به همراه بازو: ۲۱ کیلوگرم                      عرض تیغه: ۸ سانتی‌متر                      جنس تیغه: فولاد مقاوم به سایش</p>	
تیغه پنجه‌غازی	
	
<p>نوع بازو: خمیده و فنری                      طول بازو: ۶۰ سانتی‌متر                      وزن تیغه به همراه بازو: ۱۶/۵ کیلوگرم                      عرض تیغه: ۳۰ سانتی‌متر                      جنس تیغه: فولاد مقاوم به سایش</p>	
تیغه پنجه‌غازی مسطح	
	
<p>نوع بازو: نیمه راست و سخت                      طول بازو: ۶۰ سانتی‌متر                      وزن تیغه به همراه بازو: ۳۰/۷ کیلوگرم                      عرض تیغه: ۴۰ سانتی‌متر                      زاویه شکست (α): ۳۰ درجه                      جنس تیغه: فولاد مقاوم به سایش</p>	

پالس متر مدل MP5W-44 ساخت شرکت اتونیکس کره نمایش داده می‌شوند. این پالس مترها با جریان برق متناوب ۲۲۰ ولت کار می‌کنند. برای تأمین توان موردنیاز پالس متر که جریان مستقیم ۲۴۰-۱۰۰ ولت است، از یک مبدل ولتاژ DC به ۲۲۰ ولت AC مدل DXDRL1000H ساخت شرکت Doxin چین استفاده شد. برق ۱۲ ولت DC نیز از طریق یک باتری اضافی که در داخل اتاقک راننده قرار دارد، تأمین و به مبدل منتقل می‌شد (Abbaspour-Gilandeh et al., 2010).

دینامومتر اتصال سه نقطه مورد استفاده در این تحقیق قابل تنظیم و دارای سه مبدل رینگی هشت وجهی است که هر یک از آنها هشت کرنش‌سنج مقاومتی دارد و

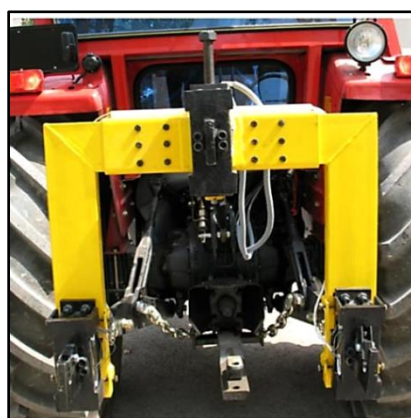
چرخ پنجم مورد استفاده در این تحقیق که با هدف اندازه‌گیری سرعت پیشروی تراکتور ایجاد شد، متشکل است از یک لاستیک بادی به قطر ۳۹ سانتی‌متر که به راحتی روی محور خود گردش می‌کند و به کمک قطعات مختلف شاسی، در راستای حرکت چرخ جلو تراکتور قرار می‌گیرد. از یک جک مکانیکی برای بالا آوردن و پایین بردن چرخ پنجم به صورت دستی استفاده می‌شود. این چرخ همچنین مجهز به دورشمار الکتریکی مدل PR12-2DN از نوع مجاورتی القایی و ساخت شرکت اتونیکس کشور کره است. این دورشمار دندانه‌های چرخ‌دنده نصب شده به مرکز چرخ پنجم را پس از حس کردن، تولید پالس می‌کند. پالس‌های تولید شده، با

تأثیر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر مصرف سوخت...

نیروهای افقی و عمودی وارد بر هریک از بازوها را اندازه‌گیری می‌کند (شکل ۳). این دینامومتر بین ابزار خاک‌ورزی و تراکتور قرار می‌گیرد (Abbaspour-Gilandeh et al., 2010).



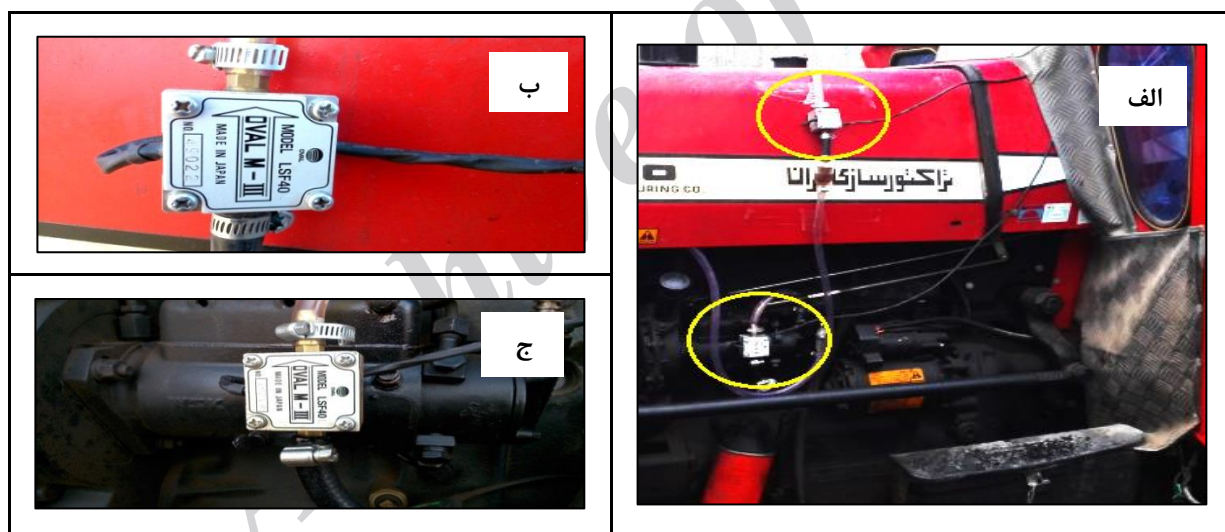
شکل ۲- تراکتور مورد استفاده در عملیات خاک‌ورزی و ابزارهای اندازه‌گیری نصب شده روی آن



شکل ۳- دینامومتر اتصال سه‌نقطه قابل تنظیم به‌کار گرفته شده در تحقیق

برای اندازه‌گیری دقیق میزان سوخت مصرف شده، از دو حسگر دبی‌سنج از نوع دنده بیضی با جابه‌جایی مثبت مدل (Super Micro Flow Mate, Oval Model Lsf 40) ساخت شرکت Oval ژاپن استفاده شد. دقت این سوخت‌سنج  $\pm 1\%$  درصد در محدوده کاری ۵۰-۱ لیتر بر ساعت است. در موتورهای دیزلی سوخت مازاد از پمپ انژکتور به مخزن سوخت برمی‌گردد، از این‌رو علاوه بر حسگری که در مسیر رفت سوخت به پمپ انژکتور قرار دارد، یک دبی‌سنج نیز در مسیر برگشت سوخت قرار داده شد تا از تفاضل جریان عبوری از دو حسگر میزان مصرف سوخت محاسبه و از طریق نمایشگر سوخت‌سنج در هر ثانیه نمایش داده شود (شکل ۴).

سوخت از روی مقدار سوختی اندازه‌گیری می‌شود که در دوره زمانی مشخص مصرف می‌شود. برای اندازه‌گیری سوخت مصرف شده در روش مستقیم توسط موتور به چند طریق می‌توان عمل کرد. یک روش، اندازه‌گیری سطح سوخت در مخزن (باک)، قبل و پس از آزمون است. ولی این روش دارای معایب فراوانی است که از آن جمله قطعی نبودن اندازه‌گیری در مواردی است که کل سوخت مصرفی پایین است. روش دیگر اندازه‌گیری سوخت مصرفی که دقت و صحت بالایی دارد، استفاده از حسگرهای دبی‌سنج و نصب آنها روی تراکتور است. نکته‌ای که در نصب آنها باید رعایت شود، حصول اطمینان از محکم بودن اتصالات آن است تا در ورود سوخت به سامانه مشکلی به وجود نیاید و دقت اندازه‌گیری کاهش نیابد.



شکل ۴- الف) محل قرارگیری حسگرهای دبی‌سنج در مسیر سوخت‌رسانی تراکتور، ب) حسگر نصب شده در مسیر برگشت سوخت مازاد از انژکتورها و ج) حسگر نصب شده در مسیر ورودی سوخت به پمپ انژکتور

ابتدا خاک با بیلچه دستی به آرامی و به طوری که شکل اصلی پروفیل خاک به هم نخورد کنار زده می‌شود؛ پس از آن با دست و یک برس، خاک نرم داخل آن نیز تخلیه می‌شود. سپس با قرار دادن پروفیل‌متر روی خاک و قرارگیری میله‌ها در داخل گودال در عمق‌های معین،

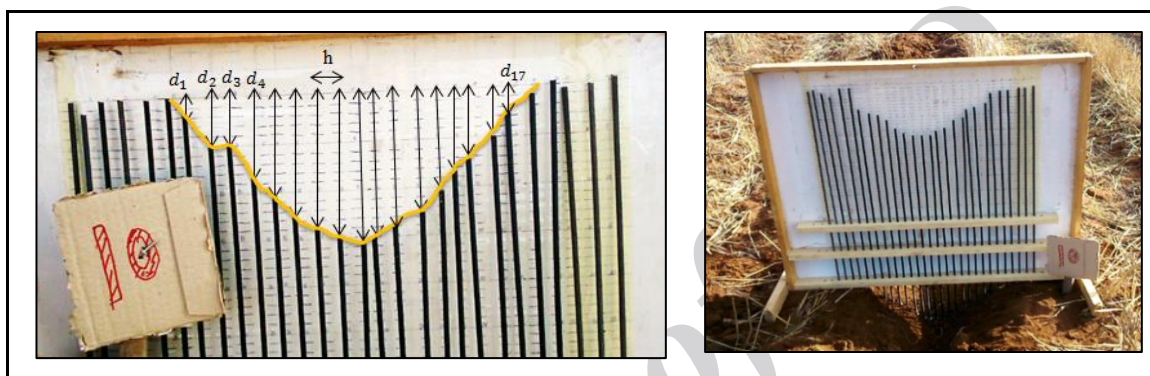
برای تعیین سطح سست شده خاک پس از عبور کولتیواتور در هر کرت آزمایشی، از پروفیل‌متر استفاده شد. این پروفیل‌متر ۷۵ سانتی‌متر طول و ۶۰ سانتی‌متر عرض دارد و میله‌هایی عمودی آن به موازات هم و به فاصله ۲ سانتی‌متری از یکدیگر تعبیه شده‌اند (شکل ۵).



که در آن،  
 $A =$  سطح مقطع شیار (سانتی‌متر مربع)؛  $d_i =$  اعداد  
 اندازه‌گیری شده با پروفیل‌متر (سانتی‌متر)؛  $d_1 =$  اولین  
 عدد نشان داده شده با پروفیل‌متر (سانتی‌متر)؛  
 $d_n =$  آخرین عدد نشان داده شده با پروفیل‌متر؛ و  
 $h =$  فاصله میان میله‌های پروفیل‌متر (سانتی‌متر).

مختصات تعدادی از نقاط سطح گسیختگی به دست می‌آید  
 و با استفاده از رابطه ۱، سطح سست شده خاک به دست  
 آمد:

$$A = \left( 2 \sum_{i=1}^n d_i \right) - (d_1 + d_n) \times h/2 \quad (1)$$



شکل ۵- پروفیل‌متر مورد استفاده در تحقیق

در دو سطح: ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در  
 داخل هر کرت آزمایشی، مقدار مقاومت به کشش ادوات  
 خاک‌ورز، میزان مصرف سوخت، مقدار مقاومت به نفوذ  
 خاک، سطح گسیختگی خاک و درصد رطوبت خاک  
 اندازه‌گیری شد.

در خصوص انتخاب سرعت پیشروی گفتنی است که  
 حداقل و حداکثر سرعت پیشروی تراکتور در حین کار با  
 کولتیواتور، مطابق با تحقیقات (Lisowski et al., 2016) و  
 (Moitzi et al., 2014) تعیین گردید، سرعت ۶/۵ کیلومتر  
 بر ساعت نیز به‌عنوان حد متوسط سرعت پیشروی انتخاب  
 شد تا اثر سرعت پیشروی تراکتور بر پارامترهای مورد  
 اندازه‌گیری ملموس‌تر و به لحاظ آماری قابل بحث باشد.  
 ابتدا نمونه‌های خاک از هر کرت به‌منظور به دست  
 آوردن رطوبت، خصوصیات فیزیکی و بافت خاک  
 جمع‌آوری گردید (جدول ۲).

## آزمایش‌های مزرعه‌ای

آزمایش‌های مزرعه‌ای در پاییز سال ۱۳۹۴ در ایستگاه  
 تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل اجرا شد.  
 پیش از آن، زمین به زیر کشت گندم رفته بود و پس از  
 برداشت محصول، کاه و کلش در سطح مزرعه پخش بود.  
 مزرعه آزمایشی به کرت‌های ۳×۳۰ متر تقسیم‌بندی شد.  
 برای جلوگیری از اشتباه راننده در انتخاب و شماره‌گذاری  
 خطوط، در حین کار کرت‌ها با استفاده از میخ‌های چوبی  
 شماره‌گذاری شد. در این تحقیق از آزمایش فاکتوریل بر  
 پایه طرح بلوک کامل تصادفی (RCBD) با ۱۸ تیمار و سه  
 تکرار استفاده شد.

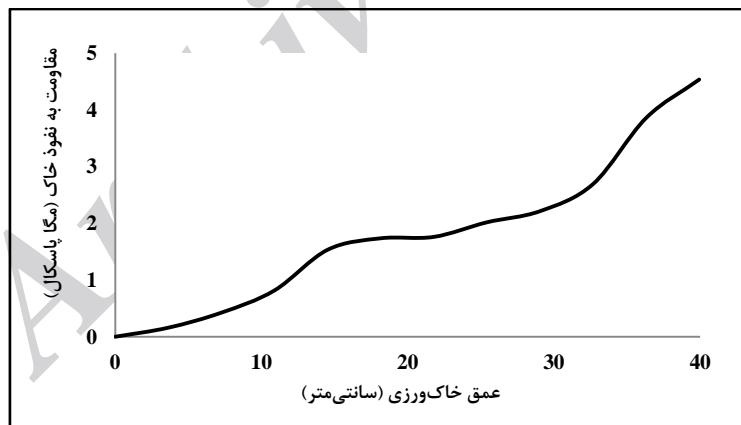
نوع تیغه مورد آزمایش (فاکتور A) در سه سطح: تیغه  
 پنجه‌غازی مسطح، پنجه‌غازی با بازوی خمیده و قلمی  
 دوسر؛ سرعت پیشروی تراکتور (فاکتور B) در سه سطح:  
 ۳، ۶/۵ و ۹ کیلومتر بر ساعت؛ عمق کار (فاکتور C)

جدول ۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک مورد آزمایش

مقدار	پارامتر اندازه‌گیری شده
۴۷	درصد شن
۴۸	درصد سیلت
۵	درصد رس
شنی لومی	بافت خاک
۲۵/۷۶	حد خمیری
۳۹/۸۱	حد روانی
۱۴/۰۵	شاخص خمیری
۱/۸۵	جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) (صفر تا ۲۰ سانتی‌متر)
۲۳/۷۸	میانگین درصد رطوبت خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر

هیدرولیکی نصب شده در داخل اتاقک راننده، میله همراه با مخروط را به داخل خاک فشار می‌داد و از طریق کامپیوتر کیفی عمق مورد نظر را تنظیم می‌کرد. این مقادیر برای عمق صفر تا ۴۰ سانتی‌متر از سطح خاک و در شرایط رطوبتی ذکر شده در جدول ۲ به‌دست آمد. در شکل ۶، میانگین نتایج به‌دست آمده نشان داده شده است.

در هر کرت آزمایشی، مقدار مقاومت به نفوذ خاک با استفاده از شاخص مخروطی برای ۳ نقطه و مجموعاً در ۵۴ نقطه به‌دست آمد. برای این کار، نفوذسنج پشت تراکتوری به تراکتور متصل شد. بعد از اتصال سیم‌های مبدل‌های نیرو و عمق، برنامه نوشته شده برای دیتالاگر به‌منظور به‌دست آوردن داده‌های نیرو و عمق اجرا گردید. راننده با استفاده از اهرم مخصوص شیرهای



شکل ۱- نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری مقاومت به نفوذ خاک با استفاده از شاخص مخروطی خاک

متصل و دنده و عمق مناسب انتخاب شد. عمق مورد نظر به کمک بازوهای پایینی تراکتور و چرخ‌های تثبیت عمق تنظیم شد.

در مرحله بعد، چرخ پنجم را راننده پایین آورد و بعد از اتصال سیم‌های سوخت‌سنج و دینامومتر اتصال سه نقطه

این نتایج نشان می‌دهد که در خاک مورد آزمایش با افزایش عمق خاک‌ورزی، مقاومت به نفوذ خاک نیز افزایش می‌یابد. برای آزمایش‌های مزرعه‌ای، پس از اتصال سوخت‌سنج، دینامومتر و سیم‌های دیتالاگر، تیغه‌های کولتیواتور نیز به دینامومتر

تجزیه واریانس مشاهده می‌شود که اثر مستقل تیغه، سرعت پیشروی و عمق کار بر میزان مصرف سوخت، مقاومت کششی و سطح سست شده خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است، اثر متقابل دوتایی تیغه در سرعت پیشروی، تیغه در عمق کار و سرعت پیشروی در عمق کار و اثر متقابل سه‌تایی بر میزان مصرف سوخت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. اثر متقابل دوتایی تیغه در عمق کار و سرعت پیشروی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است، اما اثر تیغه در سرعت پیشروی و اثر متقابل سه‌تایی معنی‌دار نیست. اثر متقابل دوتایی تیغه در عمق کار بر میزان سطح سست شده خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است در حالی که اثر متقابل دوتایی تیغه در سرعت پیشروی و سرعت پیشروی در عمق کار و اثر متقابل سه‌تایی بر میزان سطح سست شده خاک معنی‌دار نیست، معنی‌دار نبودن اثرهای متقابل نشان می‌دهد که تغییرات سطوح یک عامل در سطوح عامل دیگر یکسان است یعنی فاکتورها در کنار هم به صورت مستقل از هم عمل کرده‌اند.

و سیم‌های مربوط به پالس‌متر به کانال‌های آنالوگ دیتالاگر، برنامه نوشته شده برای دیتالاگر به منظور به دست آوردن داده‌های مصرف سوخت، مقاومت کششی و سرعت پیشروی تراکتور اجرا گردید. بعد از این فرآیند، با انتخاب دنده و دور موتور که از قبل پیش‌بینی شده بود، داده‌برداری و ثبت سیگنال‌های خروجی از مدار آغاز شد. پس از طی کردن ۳۰ متر، در انتهای مزرعه دور زده و با فاصله یک و نیم متر از شیار قبلی آزمایش با شرایط بعدی ادامه یافت. برای مشخص شدن شرایط هریک از شیارهای ایجاد شده، هر شیار با میخ چوبی علامت‌گذاری شد. داده‌ها در انتهای هر شیار در فایل جداگانه با فرمت txt ذخیره می‌شد.

## نتایج و بحث

### تجزیه واریانس میزان مصرف سوخت، نیروی کششی و سطح سست شده خاک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مصرف سوخت، مقاومت کششی و سطح سست شده خاک با تیغه‌های مورد آزمایش، در جدول ۳ آمده است. در جدول

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیرات اصلی و متقابل نوع تیغه، سرعت پیشروی و عمق کار بر مصرف سوخت، نیروی کششی و سطح سست شده خاک

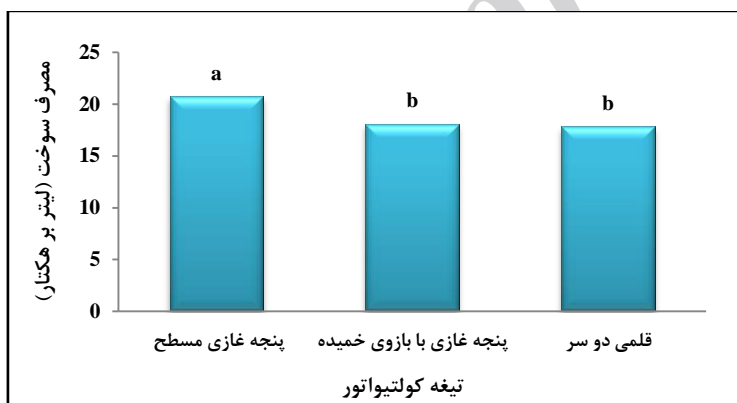
سطح سست شده خاک		نیروی کششی		مصرف سوخت		درجه آزادی	منابع تغییرات
F	میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F	میانگین مربعات		
۰/۷۴۵۲ <sup>(ns)</sup>	۶/۶۲۵	۲/۲۹۹۹ <sup>(ns)</sup>	۹۵۱/۵۴۳	۰/۱۸۱۴ <sup>(ns)</sup>	۰/۰۴۰	۲	تکرار
۲۵۷۸۷/۰۳۲۱ <sup>**</sup>	۲۲۹۲۶۸/۸۳	۶۰/۱۷۰۸ <sup>**</sup>	۲۴۸۹۴/۳۵۴	۲۱۶/۷۷۷۶ <sup>**</sup>	۴۸/۱۴۶	۲	تیغه
۳۰/۹۷۰۴ <sup>**</sup>	۲۷۵/۳۵۴	۴۰/۶۵۸۵ <sup>**</sup>	۱۶۸۲۱/۵۶۹	۶۶۱۹۰/۷۶۹ <sup>**</sup>	۱۴۷۰/۰۷۵	۲	سرعت پیشروی
۲/۴۰۳۲ <sup>(ns)</sup>	۲۱/۳۶۶	۱/۸۵۱۹ <sup>(ns)</sup>	۷۶۶/۱۷۴	۳۵/۰۹۱۷ <sup>**</sup>	۷/۷۹۴	۴	تیغه × سرعت پیشروی
۸۹۰۵۲/۳۵۵۸ <sup>**</sup>	۷۹۱۷۵۱/۸۱۴	۳۷۳/۴۶۷۵ <sup>**</sup>	۱۵۴۵۱۴/۰۳۸	۲۹۳/۸۹۹۲ <sup>**</sup>	۶۵/۲۷۴	۱	عمق
۴۷۶۵/۹۲۸۹ <sup>**</sup>	۴۲۳۷۳/۱۹۵	۴۰/۰۸۵۵ <sup>**</sup>	۱۶۵۸۴/۴۹۵	۲۹/۰۳۹۳ <sup>**</sup>	۶/۴۵	۲	تیغه × عمق
۰/۷۵۰۶ <sup>(ns)</sup>	۶/۶۷۴	۶/۸۱۰۱ <sup>**</sup>	۲۸۱۷/۵۲۱	۱۳/۵۲۲۲ <sup>**</sup>	۳/۰۰۵	۲	سرعت پیشروی × عمق
۰/۳۴۱۶ <sup>(ns)</sup>	۳/۰۳۷	۱/۰۵۱۱ <sup>(ns)</sup>	۴۳۴/۸۶۲	۴/۴۲۲۴ <sup>**</sup>	۰/۹۸۲	۴	تیغه × سرعت پیشروی × عمق
-	۸/۸۹۱	-	۴۱۳/۷۲۸	-	۰/۲۲۲	۳۴	خطا
-	-	-	-	-	-	۵۳	مجموع

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns نبود اثر معنی‌دار

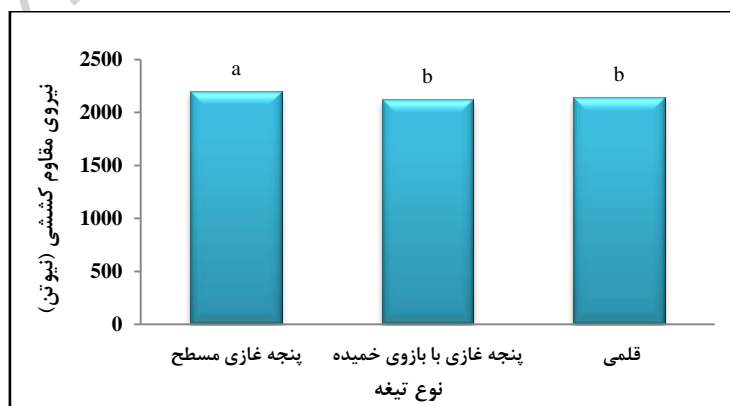
خمیده کمترین نیروی مقاوم کششی را با ۲۱۲۳/۳۱۲ نیوتن دارد؛ نیروی کشش تیغه قلمی نیز ۲۱۴۴/۱۷۵ نیوتن دارد. منشأ این تفاوت‌ها پارامترهای ابزار شامل عواملی از خود ابزار و نوع طراحی آن است که بر نیروهای وارد بر ابزار تأثیر می‌گذارند و از مهم‌ترین آنها می‌توان به نوع وسیله، جنس مواد به کار رفته در آن، شکل و اندازه آن، زاویه حمله و عرض کار اشاره کرد. نتایج تحقیقات ال سید (EL-Sayed, 1991)، الجنوبی و همکاران (Al-Janobi *et al.*, 2002) و کارپرورفرد و رحمانیان کوشکی (Karparvarfard & Rahmanian- Koushkaki, 2015) نیز بر تأثیر پارامترهای ابزار خاک‌ورزی روی مصرف سوخت و مقاومت کششی تأکید دارد.

### اثر اصلی نوع تیغه بر میزان مصرف سوخت، نیروی کششی و سطح سست شده خاک

نمودار شکل ۷، اثر هریک از تیغه‌ها را بر مصرف سوخت نشان می‌دهد. از نمودار پیداست که بیشترین مقدار میانگین مصرف سوخت مربوط به تیغه پنجه‌غازی مسطح و ۲۰/۷۷۴ لیتر بر هکتار و کمترین مقدار میانگین مصرف سوخت مربوط به تیغه قلمی و ۱۷/۸۲۳ لیتر بر هکتار است. مصرف سوخت برای تیغه پنجه‌غازی با بازوی خمیده ۱۸/۰۷۷ لیتر بر هکتار محاسبه شده است. نمودار شکل ۸، اثر هریک از تیغه‌ها را بر نیروی مقاوم کششی نشان می‌دهد که در بین تمام تیغه‌ها، تیغه پنجه‌غازی مسطح با ۲۱۹۵/۵۷۱ نیوتن دارای بیشترین نیروی مقاوم کششی است و تیغه پنجه‌غازی با بازوی



شکل ۷- اثر تیغه کولتیواتور بر میزان مصرف سوخت

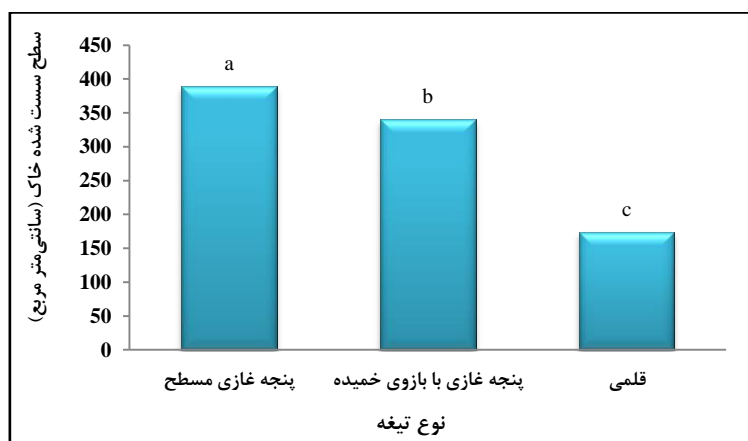


شکل ۸- اثر تیغه کولتیواتور بر نیروی کششی

تأثیر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر مصرف سوخت...

سست کردند. علت این تفاوت‌ها تأثیر ویژگی هندسی تیغه‌هاست بدین معنا که هرچه تیغه عریض‌تر و سطح درگیری آن با خاک بیشتر باشد، سطح بیشتری از خاک را سست می‌کند. نتایج تحقیقات صلح‌جو و همکاران (Solhjou *et al.*, 2011) نیز بر این مطلب تأکید دارد.

با توجه به نمودار شکل ۹، تیغه پنجه‌غازی مسطح با تأثیر بیشتر روی خاک و ۳۸۹/۴۳۹ سانتی‌متر مربع خاک سست شده، بیشترین مقدار به‌هم‌زدگی را ایجاد کرده است، تیغه‌های پنجه‌غازی با بازوی خمیده و قلمی به ترتیب ۱۷۴/۰۶۷ و ۳۴۰/۲۵۶ سانتی‌متر مربع خاک را



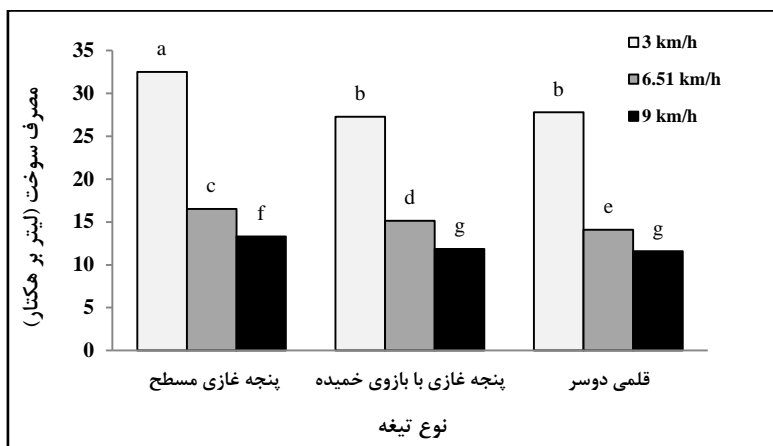
شکل ۲- اثر تیغه کولتیواتور بر سطح سست شده خاک

سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت مربوط به تیغه پنجه‌غازی مسطح و کمترین میانگین مقدار مصرف سوخت، ۱۱/۵۹۲ لیتر بر هکتار، در سرعت ۹ کیلومتر بر ساعت مربوط به تیغه قلمی است.

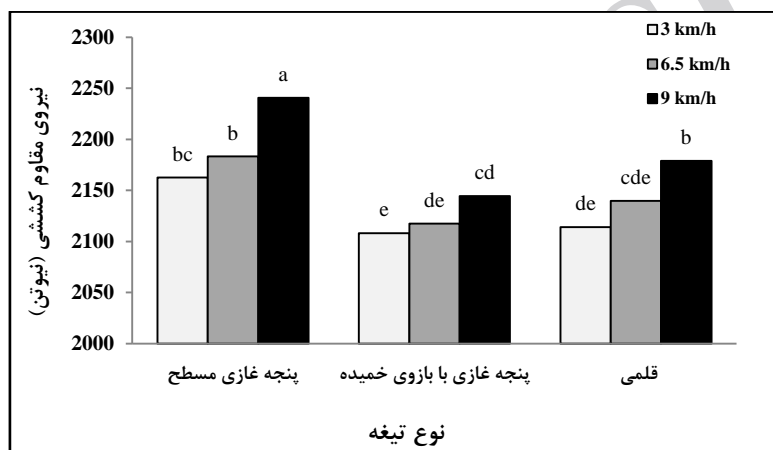
در نمودار شکل ۱۱ می‌بینیم که در تمام تیغه‌ها با افزایش سرعت پیشروی تراکتور، نیروی مقاوم کششی افزایش می‌یابد؛ این نتیجه‌گیری با نتایج تحقیقات گادوین و همکاران (Godwin *et al.*, 2007) و السوهیبانی و قالی (Al-Suhaibani & Ghaly, 2010) همخوانی دارد. این افزایش می‌تواند به دلیل تفاوت در شتاب داده شده به ذرات خاک و عکس‌العمل خاک در برابر تیغه در سرعت‌های پیشروی مختلف باشد.

اثر متقابل نوع تیغه در سرعت پیشروی بر میزان مصرف سوخت و نیروی کششی

نمودار شکل ۱۰ نشان می‌دهد که در تمام تیغه‌ها با افزایش سرعت پیشروی، میزان مصرف سوخت در واحد سطح کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش سرعت پیشروی، تراکتور در مدت زمانی کوتاه‌تر واحد سطح مزرعه را طی می‌کند و در نتیجه مقدار سوخت مصرفی در واحد سطح کاهش می‌یابد که با نتایج تحقیقات عباسپورگیلانده و همکاران (Abbaspour-Gilandeh *et al.*, 2005) و جلالی و همکاران (Jalali *et al.*, 2015) همخوانی دارد. بیشترین میانگین مقدار مصرف سوخت، ۳۲/۴۸۸ لیتر بر هکتار، در



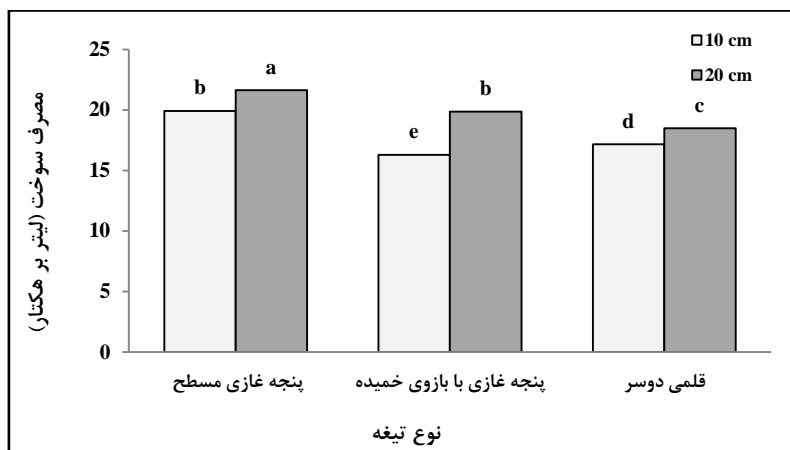
شکل ۱۰- اثر متقابل تیغه در سرعت پیشروی بر میزان مصرف سوخت



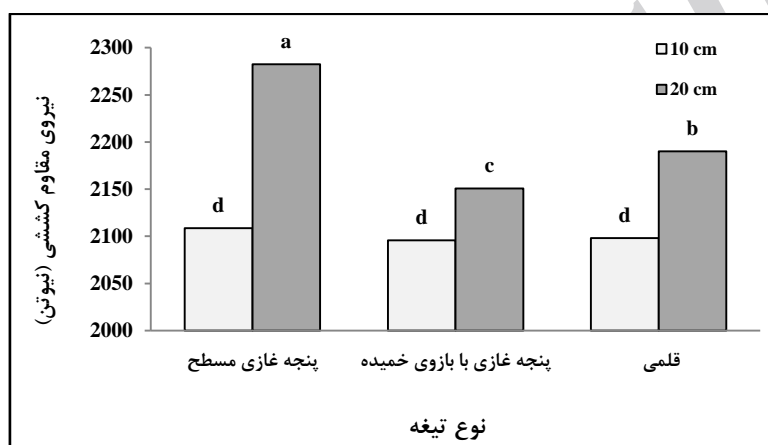
شکل ۱۱- اثر متقابل تیغه در سرعت پیشروی بر نیروی مقاوم کشش

خود به همین نتیجه دست یافته بودند. علت این امر برمی‌گردد به اینکه اولاً نیروی مقاوم مکانیکی خاک به واسطه افزایش سطح تیغه درگیر با خاک، زیاد می‌شود و در خاک مورد مطالعه میزان مقاومت مکانیکی خاک (شاخص مخروطی خاک) با افزایش عمق افزایش می‌یابد. ثانیاً به علت افزایش جرم خاکی که باید شتاب بگیرد نیروهای اینرسی افزایش می‌یابد و عکس‌العمل این نیروها بر ابزار خاک‌ورز نیز افزایش می‌یابد.

اثر متقابل نوع تیغه در عمق خاک‌ورزی بر میزان مصرف سوخت و نیروی کششی نمودار شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان می‌دهد که در تمام تیغه‌ها با افزایش عمق کار، مقدار سوخت مصرف شده و نیروی مقاوم کششی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد؛ پیشتر، فتح‌اله‌زاده و همکاران (Fathollahzadeh *et al.*, 2010)، مویتزی و همکاران (Moitzi *et al.*, 2014) و جلالی و همکاران (Jalali *et al.*, 2015) نیز در تحقیقات



شکل ۳- اثر متقابل تیغه در عمق کار، بر میزان مصرف سوخت



شکل ۱۳- اثر متقابل تیغه در عمق کار، بر نیروی مقاوم کششی

۶/۵ و ۹ کیلومتر بر ساعت، نشان داد که این تیغه در سرعت پیشروی بالا با مقدار مصرف سوخت معین، در عمق‌های مورد استفاده، سطح سست شده بیشتری را نسبت به سایر تیغه‌ها به دست می‌دهد و با توجه به قابلیت نفوذ آن در هر نوع خاک، استفاده از آن در سرعت‌های پیشروی بالا در شرایط و محصولاتی که فاصله میان ردیف‌های کشت در عملیات وجین بیشتر است و لازم است خاک سست شده بیشتری حاصل گردد، موجب صرفه‌جویی در زمان و سوخت مصرفی خواهد شد. در مقایسه تیغه پنجه غازی با بازوی خمیده و تیغه قلمی، باید گفت که عریض‌تر بودن تیغه پنجه غازی موجب می‌شود

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر سرعت پیشروی تراکتور، عمق کار بر سطح سست شده خاک، میزان مصرف سوخت و مقاومت کششی، سه نوع تیغه کولتیواتور در عملیات وجین بررسی شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مستقل تیغه‌های کولتیواتور، سرعت پیشروی تراکتور و عمق کار بر میزان مصرف سوخت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. در تمام تیغه‌ها با افزایش عمق کار میزان مصرف سوخت نیز افزایش و با افزایش سرعت پیشروی تراکتور میزان مصرف سوخت در واحد سطح کاهش می‌یابد. عملکرد تیغه پنجه غازی مسطح در سرعت‌های پیشروی

شرایط کشت در محصولاتی که سست شدگی بیشتری در فاصله میان ردیف‌های کشت در عملیات وجین ضروری است، استفاده از تیغه پنجه غازی با بازوی خمیده در سرعت پیشروی ۳ کیلومتر بر ساعت مناسب‌تر خواهد بود. خاصیت فنری بازو، خمیده بودن و وزن کم آن، دلیل این انتخاب است.

سطح بیشتری از خاک سست شود، در حالی که نتایج تحلیل آماری نشان می‌دهد که میان این دو تیغه، در مصرف سوخت و مقاومت کششی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، هرچند تیغه قلمی در خاک سخت نسبت به تیغه پنجه غازی با بازوی خمیده قابلیت نفوذ بهتری دارد اما باتوجه به بافت نسبتاً سبک خاک مزرعه و در نظر داشتن

### قدردانی

از جناب آقای مهندس هادی مسلم چالی که در اجرای این تحقیق همکاری نموده‌اند صمیمانه قدردانی می‌گردد.

### مراجع

- Abbaspour-Gilandeh, Y., Rashidi-Mohammad-Abad, F. and Askari-Asli-Ardeh, E. 2010. Design, construction and calibration of systems to measure dynamic load, actual speed and drive wheels slip of tractor MF-285. Proceedings of the 1<sup>st</sup> National Conference on agricultural mechanization and new technologies. Ahvaz, Iran. (in Persian).
- Abbaspour-Gilandeh, Y., Khalifeh, A. and Ghavami-Jolandan, S. 2016. Evaluation of factors affecting the draft of a curved shape subsoiler and prediction of its draft using multiple variables regression model. J. Agric. Eng. 38(2): 95-110. (in Persian)
- Abbaspour-Gilandeh, Y., Fazel-Niari., Z., Shahgholi, G. and Bavafa, M. 2012. Design and construction of a high speed inter-row cultivator. Appl. Mech. Mater. 110-116, 4114-4918.
- Abbaspour-Gilandeh, Y., Haghighat-Shishvan, S., Rasooli-Sharabiani, V. and Fazel-Niari, Z. 2013. Design, construction and calibration of an adjustable three-point hitch dynamometer for common agriculture tractors in Iran. J. Agric. Eng. Res. 11(2): 29-48. (in Persian)
- Abbaspour-Gilandeh, Y., Khalilian, A., Alimardani, R., Keyhani, A. and Sadati, S. H. 2005. Energy savings with variable-depth tillage. Southern Conservation Tillage Systems Conference. Clemson University.
- Abbaspour-Gilandeh, Y., Ahani, M., Askari-Asli-Ardeh, E., Rasooli-Sharabiani, V. and Sofalian, O. 2010. Design, fabrication and evaluation of a tractor-mounted soil cone penetrometer with multiple probes. J. Agric. Eng. Res. 11(1): 19-34. (in Persian)
- Alimardani, R. 1987. A computer based instrumentation system for measuring tractor field performance. Ph. D. Thesis. Iowa State University. Ames, Iowa.
- Al-Janobi, A. and Al-Suhaibani, S. A. 1998. Draft of primary tillage implements in sandy loam soil. Appl. Eng. Agric. 14(4): 343-348.
- Al-Janobi, A., Wahby, M. F., Aboukarima, A. M. and Al-Hamed S. A. 2002. Influence of chisel plow shank shape on horizontal and vertical force requirements. Agric. Sci. 7(1): 13-19.
- Al-Suhaibani, S. A. and Ghaly, A. E. 2010. Effect of ploughing depth of tillage and forward speed on the performance of a medium size chiesel plow operating in a sandy soil. Am. J. Agr. Biol. Sci. 3, 588-596.
- Bedri, A. R. and Al-Hashem H. A. S. 2006. High precision instrumentation package for monitoring the tractor performance. Sci. J. King. Faisal. Uni. (Basic Applied Sciences). 7, 95-106.



- Biswas, H. S. 2000. Animal-drawn weeders for weed control in India. Technical Bulletin CIAE/78/3. Central Institute of Agricultural Engineering (CIAE). Bhopal, India.
- El-Sayed, M. E. E and Zumwalt, K. W. 1990. Efficient design sensitivity derivatives for multi-load case structures as an integrated part of finite element analysis. *Comput. Struct.* 40 (6): 1461-1467.
- Fathollahzadeh, H., Mobli, H., Rajabipour, A., Minaee, S., Jafari, A. and Tabatabaie, S. M. H. 2010. Average and instantaneous fuel consumption of Iranian conventional tractor with moldboard plow in tillage. *J. Eng. Appl. Sci.* 5(2): 30-35.
- Godwin, R. J. and O'Dogherty, M. J. 2007. Integrated soil tillage force prediction models. *J. Terra.* 44, 3-14.
- Hansson, P. A., Lindgren, M., Nordin, M. and Pettersson, O. 2003. A methodology for measuring the effects of transient loads on the fuel efficiency of agricultural tractors. *Am. Soc. Agr. Eng.* 19(3): 251-257.
- Jalali, A., Mahmoudi, A., Valizadeh, M. and Eskandari, I. 2015. The effect of conservation tillage forward speed and depth on farm fuel consumption. *J. Agric. Mach.* 5(2): 325-335. (in Persian)
- Karparvarfar, S. H. and Rahmani-Koushkaki, H. 2015. Development of a fuel consumption equation: Test case for a tractor chisel-ploughing in a clay loam soil. *J. Biol. Eng.* 130, 23-33.
- Lisowski, A., Klonowski, J., Green, O., Swietochowski, M., Sypula, M., Struzyk, A., Nowakowski, T., Chlebowski, J., Kaminski, J., Kostyra, K., Mieszkalski, L. and Lauryn, D. 2016. Duckfoot tools connected with flexible and stiff tines: Three components of resistances and soil disturbance. *J. Soil. Till. Res.* 158, 76-90.
- Moitzi, G., Wagentristsl, H., Refenner, K., Weingartmann, H., Piringer, G., Boxberger, J. and Gronauer, A. 2014. Effects of working depth and wheel slip on fuel consumption of selected tillage implements. *Agric. Eng. Int. CIGR.* 16(1): 182-190.
- Moitzi, G., Szalay, T., Schuller, M., Wagentristsl, H., Refenner, K., Weingartmann, H., Liebhard, P., Boxberger, J. and Gronauer, A. 2013. Effects of tillage systems and mechanization on work time, fuel and energy consumption for cereal cropping in Austria. *Agric. Eng. Int. CIGR.* 15(4): 94-101.
- Rohit, K. and Sahu, H. R. 2006. An approach for draft prediction of combination tillage implements in sandy clay loam soil. *Soil Till. Res.* 90, 145-155.
- Solhjou, A. A., Fielke, J. and Desbiolles, J. 2011. Effect of narrow opener geometry on lateral surface soil movement and implications for no-till seeding. 5<sup>th</sup> World Congress on Conservation Agriculture. Brisbane, Australia.

## **Effect of Forward Speed and Tillage Depth on Fuel Consumption and Draft Force of Different Types of Cultivator Blades**

**S. Fazeli, Y. Abbaspour-Gilandeh<sup>\*</sup>, Gh. Shahgoli and Z. Fazel-Niari**

<sup>\*</sup> Corresponding Author: Professor, Department of Boisystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh-Ardabili, Ardabil, Iran.Email: [abbaspour@uma.ac.ir](mailto:abbaspour@uma.ac.ir)

Received: 9 May 2016, Accepted: 22 October 2016

Traction efficiency and fuel consumption have close affinity and are considered to be important unit operations, especially during primary tillage operations. Therefore, analyzing factors that affect the amount of Traction efficiency and fuel consumption is considered important. Amongst these factors, forward speed of tractor and tillage depth are of prime importance. Experiments were conducted for comparison of draft force and fuel consumption using, three types of cultivator blades (flat Duckfoot, Duckfoot with curve shank and Chisel plow), under sandy loam soil condition by using a factorial experiment based on randomized complete block design (RCBD). The effect of forward speed (3, 6.5 and 9 km/h) and tillage depth (10 and 20 cm) was the experimental conditions. Within each experimental plot, draft force of cultivators, fuel consumption, soil cone index, soil dispersion and percent of soil moisture content were measured. Analysis of variance showed that the effects of the blade type, forward speed and depth on the draft force and fuel consumption was significant at 1%. Comparing the draft force and fuel consumption of blades in different forward speeds and also considering the relatively light texture of the soil, it was found that duckfoot blade with curve shank with forward speed of 3 km/h was more appropriate.

**Keywords:** Cultivator, Draft Force, Forward Speed Fuel Consumption, Tillage Depth