

تأثیر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر عملکرد تراکتور - زیرشکن

محمد عسکری*، غلامحسین شاهقلی، یوسف عباسپور گیلانده و حسینعلی تاش شمس آبادی**

* نگارنده مسئول: دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی بیوسیستم، انتهای خیابان دانشگاه، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. تلفن: ۰۴۵۳۵۵۱۷۵۰۰، پیام‌نگار: engmohammadaskari@gmail.com
 ** به ترتیب: دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی؛ دانشیار و استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی؛ و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۹

چکیده

در این تحقیق، مقاومت کششی مورد نیاز، سطح مقطع شیار ایجاد شده، مقاومت کششی ویژه، مصرف سوخت تراکتور، لغزش، قدرت مالبندی، بازده کششی و بازده کل انرژی به هنگام زیرشکنی بررسی شده است. اثر سرعت پیشروی در چهار سطح ۱/۸، ۲/۳، ۲/۹، ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی در دو سطح ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی روی پارامترهای فوق مطالعه و این نتیجه به دست آمد که سرعت پیشروی وقتی افزایش یابد، مقاومت کششی، مقاومت کششی ویژه، مصرف سوخت، لغزش، قدرت مالبندی و بازده کل انرژی به ترتیب و به طور میانگین به میزان ۷/۴، ۱۰، ۲/۹، ۱۰۸/۳ و ۶ درصد افزایش اما سطح مقطع شیار و بازده کششی به میزان ۷/۲ و ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. با افزایش عمق خاک‌ورزی از ۴۰ به ۵۰ سانتی‌متر، مقاومت کششی مورد نیاز، سطح مقطع شیار، مصرف سوخت، لغزش و قدرت مالبندی به ترتیب حدود ۳/۲۱، ۶/۲۵، ۶/۳۹، ۸/۲ و ۴/۲۱ درصد افزایش اما مقاومت کششی ویژه، بازده کششی و بازده کل انرژی به ترتیب حدود ۴/۳، ۷/۶ و ۴/۱ درصد کاهش می‌یابد. مناسب‌ترین تیمار برای صرفه جویی در مصرف انرژی، عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متر و سرعت ۲/۹ کیلومتر بر ساعت است.

واژه‌های کلیدی

بازده کششی، بازده کل انرژی، زیرشکن، مصرف سوخت، مقاومت کششی

مقدمه

اندازه‌گیری می‌شود. با در نظر گرفتن مزایا و معایب تمامی انواع دینامومترها، نوع قابی اتصال سه نقطه مناسب تر از دیگر انواع است (Askari et al., 2011). مصرف سوخت یا از طریق حسگرهای قرارداده شده در مسیر لوله‌های انتقال سوخت یا با روش باک پر اندازه‌گیری می‌شود؛ روش دوم با توجه به اینکه نیاز به تغییر در سیستم سوخت رسانی تراکتور ندارد، متداول تر است (Clark & Adsit, 1985). مقاومت کششی مورد نیاز ادوات خاک‌ورزی، تابعی از خصوصیات خاک، شکل هندسی ابزار خاک‌ورز، عمق و سرعت خاک‌ورزی و عرض ادوات است (Glancey et al.,

داده‌های مربوط به عملکرد تراکتور و ادوات مختلف برای کشاورزان و تولیدکنندگان ماشین‌های کشاورزی ضروری است. تراکتور و ادوات مناسب با شرایط مزرعه‌ای خاص، از داده‌های عملکرد انتخاب می‌شوند (Al-Suhaibani, 1992). اندازه‌گیری مقاومت کششی مورد نیاز ادوات و مصرف سوخت تراکتور همچنین تحقیق در مورد فرمول‌های پیش‌بینی آنها، سهم ویژه‌ای از تحقیقات مهندسی کشاورزی را به خود اختصاص داده است. مقاومت کششی مورد نیاز ادوات با دینامومتر

همچنین، تحقیقات زیادی به منظور بررسی اثر سرعت پیشروی و عمق عملیات زیرشکن بر عملکرد تراکتور شده است. شبی و همکاران (Shebi *et al.*, 1988) گزارش کردند که با افزایش سرعت تراکتور از ۴ به ۱۱ کیلومتر در ساعت، میزان لغزش چرخ‌ها از ۱۵ به ۵/۸ درصد می‌رسد. اسماعیل و برکه‌هارت (Ismail & Burkhardt, 1993) در مطالعات خود رابطه تغییرات سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی را با مصرف سوخت (لیتر بر ساعت)، لغزش و بازده کششی تراکتور به ترتیب خطی، درجه دوم و خطی گزارش کرده‌اند. خسروانی و همکاران (Khosravani *et al.*, 1998) به این نتیجه رسیدند که با افزایش عمق خاک‌ورزی، میزان مصرف سوخت تراکتور و لغزش چرخ‌های محرک افزایش می‌یابد. رحمان و جها (Raheman & Jha, 2007) در تحقیقات خود دریافته‌اند که با افزایش سرعت پیشروی، میزان لغزش به صورت چندجمله‌ای درجه دوم افزایش می‌یابد. بررسی‌های موسوی سیدی (Mosavi Seyyedi, 2009) نشان داد که با افزایش عمق شخم، مصرف سوخت و لغزش افزایش اما با افزایش سرعت پیشروی، مصرف سوخت و لغزش کاهش می‌یابد. رنجبریان و همکاران (Ranjbarian *et al.*, 2015) دریافته‌اند که وقتی سرعت پیشروی افزایش یابد لغزش، قدرت مالبندی و بازده کل انرژی افزایش اما بازده کششی کاهش می‌یابد و مصرف سوخت در سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت بهینه است. از مهم‌ترین شاخص‌های مصرف انرژی در عملیات خاک‌ورزی، بازده کل انرژی مجموعه تراکتور-ادوات خاک‌ورز است. بازده کل انرژی عبارت است از میزان انرژی منتقل شده از طرف تراکتور به ادوات خاک‌ورز نسبت به انرژی تولید شده به ازای مصرف مقدار معینی از سوخت (Serrano Joao *et al.*, 2005). کراول و بورز (Crowell & Bowers, 1985) گزارش کرده‌اند که بازه صحیح برای بازده کل انرژی ۲۰-۱۰ درصد است. اگر بازده کل انرژی برای تراکتور-ادوات خاک‌ورز کمتر از ۱۰

(1996). در همین راستا می‌توان به رابطه پیش‌بینی مقاومت کششی ادوات اشاره کرد که هرینگان و روتز (Harrigan & Rotz, 1995) در استاندارد ASABE (Anon, 2009) ارائه داده‌اند:

$$D = Fi (A + B(S) + C(S^2))WT \quad (1)$$

که در آن،

D = مقاومت کششی مورد نیاز ادوات (نیوتن)؛
 Fi = پارامتری بدون واحد مربوط به بافت خاک؛ A و B و C = پارامترهای مخصوص ابزار خاک‌ورز؛ S = سرعت حرکت در مزرعه (کیلومتر بر ساعت)؛ W = عرض ابزار خاک‌ورز (متر) یا تعداد شاخه‌های ابزار خاک‌ورز (ابزار چیزل مانند)؛ و T = عمق کار ابزار خاک‌ورز (سانتی‌متر) است. بیشترین اختلاف مورد قبول نسبت به داده حاصل از این استاندارد، $\pm 50\%$ درصد است که سعی دارد تمامی بافت‌های خاک را پوشش دهد (McLaughlin *et al.*, 2008). به منظور بررسی اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر مقاومت کششی مورد نیاز ادوات تحقیقات زیادی شده است. اسماعیل و برکه‌هارت (Ismail & Burkhardt, 1993)، رابطه تغییرات عمق و سرعت پیشروی را با مقاومت کششی مورد نیاز گاوآهن چیزل رابطه‌ای خطی گزارش کردند. نتایج بررسی‌های اشرفی زاده (Ashrafi Zadeh, 2006) نشان می‌دهد که رابطه بین افزایش سرعت پیشروی و افزایش مقاومت کششی مورد نیاز تیغه‌های باریک رابطه‌ای خطی است. ساهو و رحمان (Sahu & Raheman, 2006)، و معینی‌فر و همکاران (Moeenifar *et al.*, 2013) رابطه بین سرعت پیشروی و عمق کاری گاوآهن چیزل و مقاومت کششی آن را خطی یافتند. رنجبریان و همکاران (Ranjbarian *et al.*, 2015)، رابطه بین افزایش سرعت پیشروی و مقاومت کششی مورد نیاز گاوآهن برگردان‌دار، گاوآهن بشقابی و گاوآهن چیزل را خطی گزارش کردند.

تأثیر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر...

مالبندی، بازده کششی و بازده کل انرژی در عملیات زیرشکنی با زیرشکن. ۲- اعتبارسنجی فرمول استاندارد ASABE در پیش‌بینی مقاومت کششی زیرشکن. ۳- ارائه اطلاعات به دست آمده درباره زیرشکن به کشاورزان به منظور شناخت هرچه بهتر آنها از این ابزار مفید.

مواد و روش‌ها

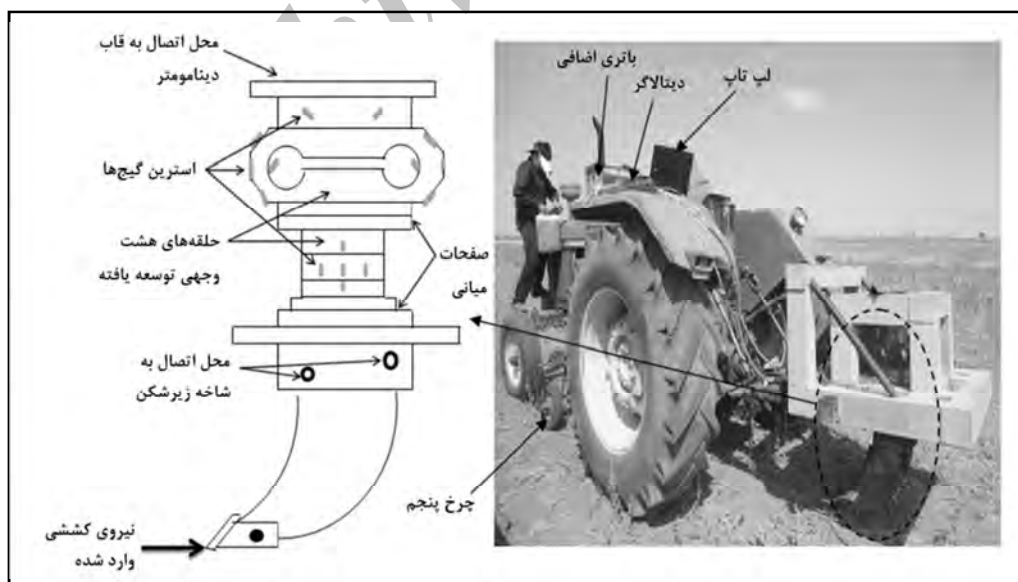
ابزارهای اندازه‌گیری

ابزارهای اندازه‌گیری استفاده شده در این تحقیق شامل دینامومتر اتصال سه نقطه، چرخ پنجم، استوانه مدرج برای اندازه‌گیری مصرف سوخت و سیستم جمع‌آوری داده است. در این تحقیق از دینامومتری استفاده شد که عباسپور گیلانده و خان‌رمکی (Abbaspour-Gilandeh & Khanramaki, 2013) ساخته‌اند. این وسیله قادر است مقاومت کششی مورد نیاز شاخه خاک‌ورز را تا بیشینه مقدار ۳۵ کیلونیوتن اندازه‌گیری کند (شکل ۱).

درصد باشد، ترکیب مناسبی از تراکتور و ادوات خاک‌ورز را انتخاب نکرده‌ایم و بازده کششی پایینی داریم؛ بازده کل انرژی بیشتر از ۲۰ درصد بیانگر ترکیب مناسب تراکتور- ادوات خاک‌ورز و بازده کششی بالا است.

به‌منظور شکستن لایه سخت زیر سطح خاک، انواع مختلفی از گاوآهن‌های زیرشکن در طرح‌های متنوع وجود دارد (Raper, 2002) اما مقاومت کششی موردنیاز آنها، مصرف سوخت تراکتور به هنگام کار با آنها، تراکتور مناسب برای کشش آنها و تأثیر این زیرشکن‌ها بر پارامترهایی مانند لغزش تراکتور، قدرت مالبندی، بازده کششی و بازده انرژی کل کمتر مورد توجه قرار گرفته است یا موجود نیست. درباره زیرشکن، تحقیقات اندک است؛ کشاورزان در ایران معمولاً از زیرشکن استفاده نمی‌کنند و شناخت خوبی از این ابزار مفید ندارند. به طور کلی، اهداف تحقیق حاضر بدین صورت است:

۱- بررسی اثر تغییرات سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر مقاومت کششی موردنیاز، مصرف سوخت، لغزش، قدرت



شکل ۱- دینامومتر، سیستم جمع‌آوری داده و چرخ پنجم مورد استفاده در آزمون‌های مزرعه‌ای

پنجم متصل است که چرخش چرخنده ۱۲ دندانه‌ای را ثبت می‌کند. با تقسیم عدد نشان داده شده در نمایشگر

سرعت واقعی حرکت تراکتور در مزرعه با چرخ پنجم اندازه‌گیری شد (شکل ۱). یک حسگر مغناطیسی به چرخ

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

که در آن،

A = مساحت سطح مقطع شیار (سانتی متر مربع)؛ d_i = اعداد خوانده شده با پروفیل متر؛ d_1 و d_n = اولین و آخرین اعداد قرائت شده با پروفیل متر؛ و h = فاصله میان میله‌های پروفیل متر است (۳ سانتی متر) (شکل ۲).

دیجیتال پالس متر بر عدد ۱۲، تعداد دور چرخ پنجم قابل محاسبه است. با داشتن محیط چرخ پنجم، مسافت طی شده محاسبه و با اندازه‌گیری مدت زمان مورد نیاز برای طی کردن این مسافت، سرعت واقعی حرکت تراکتور به دست می‌آید. به منظور اندازه‌گیری سطح مقطع شیار ایجاد شده در خاک، از پروفیل متر و رابطه ۲ استفاده شد:



شکل ۲- اندازه‌گیری سطح مقطع شیار ایجاد شده به کمک پروفیل متر (h برابر است با ۳ سانتی متر)

داده مورد استفاده در این تحقیق، شامل استرین‌گیج‌های نصب شده روی دو حلقه هشت وجهی توسعه یافته (EOR) نصب شده روی دینامومتر اتصال سه نقطه، دیتالاگر و لپ تاپ بود. سیگنال‌های دریافتی از استرین‌گیج‌ها در دیتالاگر DT-800 رقومی شد و در انتهای هر کرت به لپ تاپ انتقال یافت. دیتالاگر و لپ تاپ از طریق یک باتری ۱۲ ولتی اضافی و مبدل برق ۱۲ به ۲۲۰ ولت تغذیه می‌شدند (شکل ۱).

کالیبراسیون مزرعه‌ای دینامومتر

کالیبراسیون مزرعه‌ای در دو مرحله انجام گردید. در مرحله اول، تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹، مجموعه تراکتور جان دیر ۳۱۴۰ در حالت خلاص- دینامومتر- زیرشکن را از طریق کابل رابط و لودسل ۵ تنی نصب شده بین دو تراکتور می‌کشید. در این وضعیت، نیروهای کششی

مقاومت کششی ویژه مطابق رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$S.D = \frac{F}{A} \quad (3)$$

که در آن،

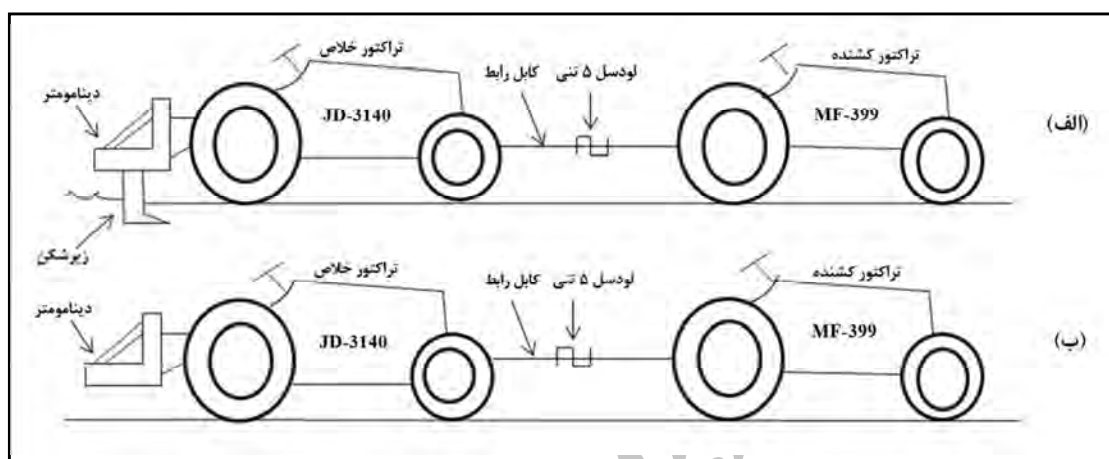
$S.D$ = مقاومت کششی ویژه (نیوتن بر سانتی متر مربع)؛
 F = مقاومت کششی اندازه‌گیری شده (نیوتن)؛ و A = سطح مقطع شیار ایجاد شده (سانتی متر مربع) است.

برای اندازه‌گیری مصرف سوخت از روش باک پر (استوانه مدرج) استفاده شد. در این روش قبل از شروع عملیات زیرشکنی در هر کرت، باک تراکتور پر می‌شود، بعد از رسیدن تراکتور به انتهای کرت نیز بار دیگر باک تراکتور با استوانه شیشه‌ای مدرج پر می‌شود. مقدار سوختی که در انتهای کرت برای پر شدن مجدد مخزن سوخت تراکتور در مخزن ریخته می‌شود، مصرف سوخت تراکتور را در آن کرت نشان می‌دهد. سیستم جمع‌آوری

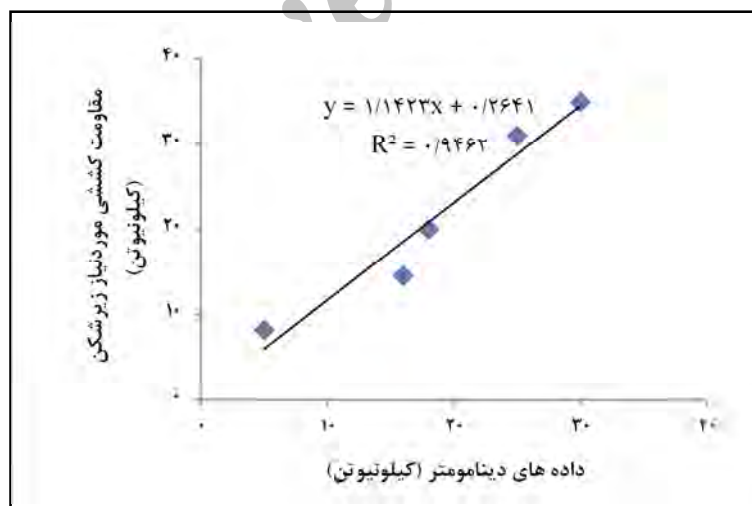
تأثیر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر...

تفاوت نیروهای اندازه‌گیری شده با لودسل ۵ تنی در دو مرحله اول و دوم باید با مقاومت کششی اندازه‌گیری شده با دینامومتر برابر باشد. با رسم دو سری نیرو، نمودار کالیبراسیون مزرعه‌ای دینامومتر به دست آمد (شکل ۴).

تفاوت با اعمال سرعت‌های پیشروی متفاوت در تراکتور کشنده به دست آمد (شکل ۳ الف). در مرحله دوم، تراکتور کشنده مجموعه تراکتور خلاص - دینامومتر را در همان سرعت‌های پیشروی مرحله اول می‌کشید (شکل ۳ ب).



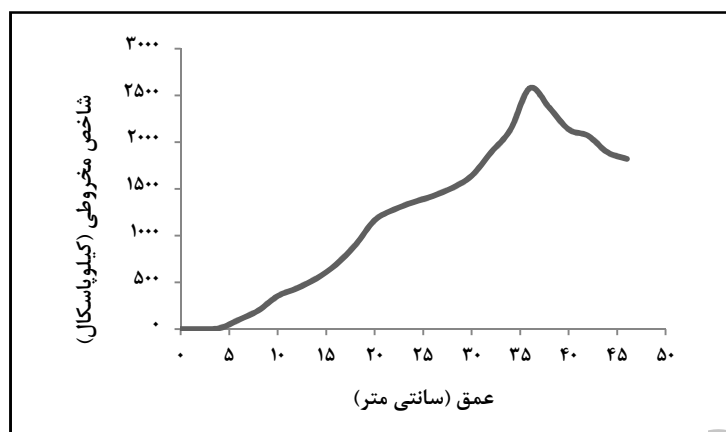
شکل ۳- کالیبراسیون مزرعه‌ای دینامومتر اتصال سه نقطه



شکل ۴- نتایج به دست آمده از کالیبراسیون مزرعه‌ای دینامومتر

شد. نفوذپذیری خاک در ۲۰ نقطه که به طور تصادفی انتخاب شده بود تا عمق ۵۰ سانتی متری اندازه‌گیری شد، میانگین نتایج به دست آمده در شکل ۵ نشان داده شده است.

آزمون‌های مزرعه‌ای در مزارع ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل اجرا شد. از یک نفوذسنج دستی ریمیک (Rimik, CP-20) برای اندازه‌گیری فشردگی خاک استفاده



شکل ۵- نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری فشردگی خاک با دستگاه نفوذسنج

فرمول مربوط به محاسبه رطوبت وزنی بر پایه وزن خشک، میزان رطوبت به دست آمد. برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک، از هر عمق (۲۵-۵۰ و ۰-۲۵) سانتی‌متر) در نقاط تصادفی، مجموعاً ۳۰ نمونه خاک با استوانه‌های استاندارد جمع‌آوری شد. وزن استوانه‌ها پس از آنکه به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند به دست آمد. با کسرکردن وزن استوانه‌های خالی، وزن خاک خشک (بر حسب گرم) تعیین شد و با تقسیم کردن آن بر حجم استوانه نمونه‌برداری (بر حسب سانتی‌متر مکعب)، جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) به دست آمد. نتایج حاصل در جدول ۱ نشان داده شده است.

این نتایج نشان می‌دهد که سخت لایه‌ای در عمق ۳۵ سانتی‌متری وجود دارد و بنابراین عمق زیرشکنی ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر انتخاب شد. از تراکتور جان دیر ۳۱۴۰ با ۱۱۰ اسب بخار قدرت در آزمون‌های مزرعه‌ای استفاده شد. شاخه زیرشکن مورد استفاده در آزمون‌های مزرعه‌ای از نوع استاندارد C شکل و حداکثر عمق کاری آن ۶۰ سانتی‌متر است. خاک مزرعه از نوع لومی رسی بود، رطوبت و سایر خصوصیات خاک در ۱۵ نقطه انتخاب شده به طور تصادفی و در دو عمق ۲۵-۵۰ و ۰-۲۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری رطوبت بر پایه وزن خشک، نمونه‌های خاک دوبار وزن شدند، یک بار پس از جمع‌آوری و بار دیگر بعد از ۲۴ ساعت نگهداری در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس. با جایگذاری این داده‌ها در

جدول ۱- بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مزرعه تحقیقاتی

مقدار	خصوصیت
۴۰	شن (درصد)
۲۸	سیلت (درصد)
۳۲	رس (درصد)
۰/۲۹	ماده آلی (درصد)
۷/۶۲	اسیدیته
۰/۴۱	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
۱۰/۱۳	ظرفیت مزرعه ای بر پایه وزن خشک (درصد)
۱/۳۵	جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) (۲۵-۰ سانتی‌متری)
۱/۴۶	جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) (۵۰-۲۵ سانتی‌متری)
۹/۳	رطوبت بر پایه وزن خشک (درصد) (۲۵-۰ سانتی‌متری)
۱۲/۴	رطوبت بر پایه وزن خشک (درصد) (۵۰-۲۵ سانتی‌متری)

تأثیر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر...

کششی مورد نیاز ابزار خاک‌ورز (کیلونیوتن)؛ و $Va =$ سرعت واقعی حرکت تراکتور در مزرعه (متر بر ثانیه) است. برای اندازه‌گیری بازده کششی از رابطه ۶ استفاده شد:

$$TE = 1 - S (NT/GT) \quad (6)$$

که در آن،

$TE =$ بازده کششی؛ $S =$ میزان لغزش؛ $NT =$ کشش خالص (تعریف شده در استاندارد ASAE S296)؛ و $GT =$ کشش کلی (تعریف شده در استاندارد ASAE S296) است.

یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در این تحقیق بررسی شد، بازده انرژی کل مجموعه تراکتور- ادوات خاک‌ورز بود که از طریق رابطه ۷ محاسبه می‌گردد:

$$OEE = \frac{Va \times D}{10.2 \times Fc} \times 3.6 \quad (7)$$

که در آن،

$OEE =$ بازده انرژی کل (درصد)؛ $Va =$ سرعت واقعی حرکت تراکتور در مزرعه (کیلومتر بر ساعت)؛ $D =$ مقاومت کششی مورد نیاز ادوات (کیلونیوتن)؛ و $Fc =$ مصرف سوخت تراکتور (لیتر بر ساعت) است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت کششی مورد نیاز گاوآهن زیرشکن در عمق‌ها و سرعت‌های مختلف در جدول ۲ آمده است. داده‌ها در فاصله ۱۰-۲۵ متری در طول هر کرت به دست آمده‌اند. شکل ۶ ارتباط بین مقادیر پیش‌بینی شده در استاندارد ASABE و داده‌های مزرعه‌ای را در عمق‌های مختلف نشان می‌دهد.

با در نظر گرفتن دو عمق خاک‌ورزی، چهار سرعت و چهار تکرار برای هر سرعت، جمعاً ۳۲ کرت آزمایشی (هر یک ۳ متر در ۳۰ متر) در چهار بلوک بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در نظر گرفته شد. در هر کرت، چهار فاکتور شامل مقاومت کششی، سطح مقطع شیار ایجاد شده، مصرف سوخت تراکتور و سرعت واقعی پیشروی تراکتور اندازه‌گیری و فاکتورهای دیگری شامل مقاومت کششی ویژه، لغزش چرخ‌های محرک، قدرت مالبندی و بازده کششی تراکتور و بازده کل انرژی در مجموعه تراکتور- زیرشکن با استفاده از فرمول‌های استاندارد محاسبه گردید. مقاومت کششی ویژه با استفاده از فرمول ۳ محاسبه شد. برای محاسبه لغزش چرخ‌های محرک از رابطه زیر استفاده شد:

$$S = 100 (1 - (Va/Vo)) \quad (4)$$

که در آن،

$S =$ میزان لغزش (درصد)؛ $Va =$ سرعت واقعی حرکت تراکتور حین عملیات خاک‌ورزی (کیلومتر بر ساعت)؛ و $Vo =$ سرعت حرکت تراکتور بدون بار روی سطح مزرعه (کیلومتر بر ساعت) است.

برای محاسبه قدرت مالبندی تراکتور از رابطه ۵ استفاده شد:

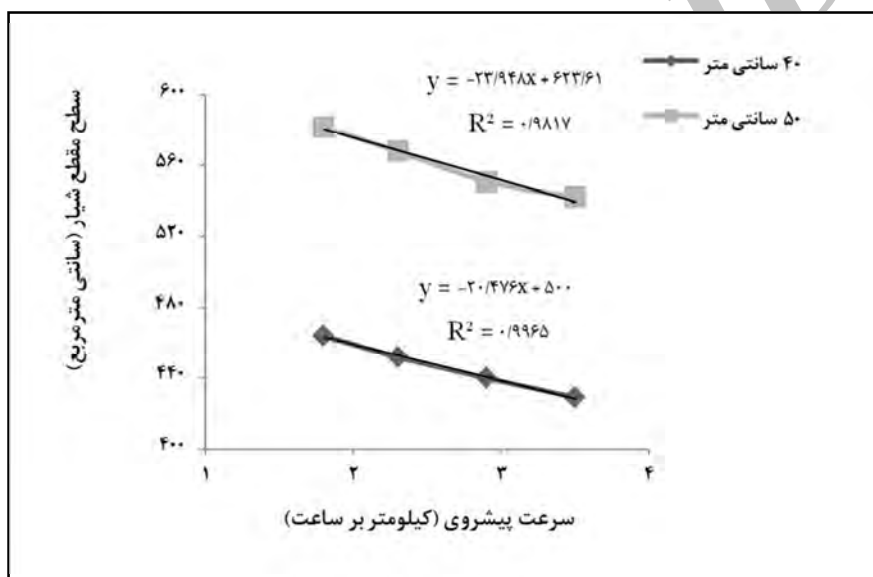
$$DP = D \times Va \quad (5)$$

که در آن،

$DP =$ قدرت مالبندی (کیلو وات)؛ $D =$ نیروی مقاومت

جدول ۲- مقاومت کششی موردنیاز زیرشکن در آزمون‌های مزرعه‌ای

عمق خاکورزی (سانتی‌متر)	سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)	پیش‌بینی فرمول استاندارد ASABE (کیلو نیوتن)	میانگین داده‌های دینامومتر (کیلو نیوتن)	اختلاف میان داده‌های دینامومتر و استاندارد (درصد)
۴۰	۱/۸	۶/۴۹	۷/۱۸	۱۰/۶۳
	۲/۳	۶/۵۹	۷/۲۶	۱۰/۱۷
	۲/۹	۶/۷۵	۷/۴	۹/۶۳
	۳/۵	۶/۹۴	۷/۶۵	۱۰/۲۳
۵۰	۱/۸	۸/۱۱	۸/۶	۶/۰۴
	۲/۳	۸/۲۴	۸/۸۶	۷/۵۲
	۲/۹	۸/۴۴	۹/۰۶	۷/۳۴
	۳/۵	۸/۶۶	۹/۲۶	۶/۹۳



شکل ۶- ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در استاندارد در مورد مقاومت کششی (کیلو نیوتن) در عمق‌های متفاوت خاکورزی و سرعت‌های مختلف

در هر دو عمق، فرمول استاندارد ASABE مقاومت

۱- اثر سرعت پیشروی و عمق خاکورزی بر مقاومت کششی مورد نیاز زیرشکن

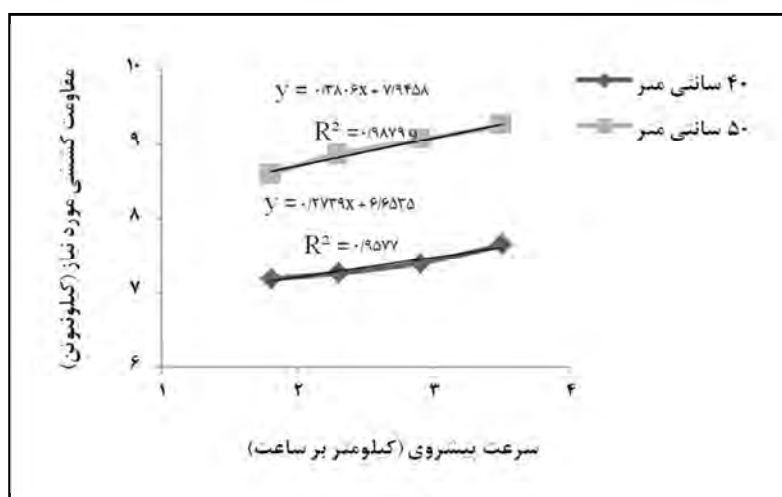
اثر سرعت پیشروی و عمق خاکورزی بر مقاومت کششی موردنیاز زیرشکن در جدول ۳ و شکل ۷ نشان داده شده است. داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که تغییرات سرعت پیشروی، عمق خاکورزی و اثر متقابل آنها بر مقاومت کششی موردنیاز معنی‌دار است ($P < 0.01$).

کششی مورد نیاز زیرشکن را کمتر از مقادیر به دست آمده در آزمون‌های مزرعه‌ای تخمین زده است و داده‌های مزرعه‌ای در عمق خاکورزی ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر به ترتیب به میزان ۱۰ و ۷ درصد به طور میانگین نسبت به داده استاندارد بیشتر است و در نتیجه داده‌های مزرعه‌ای در بازه ± 50 درصد فرمول استاندارد قرار دارد. با افزایش عمق خاکورزی، اختلاف میان داده‌های مزرعه‌ای و استاندارد کاهش اما با افزایش سرعت پیشروی،

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر پارامترهای مورد مطالعه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		مقاومت کششی	سطح مقطع شیار	مقاومت کششی ویژه	مصرف سوخت	لغزش	قدرت مالبندی	بازده کششی	بازده کل انرژی
عمق	۱	۱۹/۷۸۲**	۱۰۴۸۸۲/۰۰**	۲/۶۰۸**	۲۰/۰۲۰**	۶۳/۹۵۸**	۱۰/۷۴**	۳۶۴/۵**	۱۵/۲۸۵**
سرعت	۳	۰/۴۶۶**	۲۱۶۱/۳۳۳**	۸/۱۲۲**	۰/۹۵۷**	۱۲/۹۸**	۲۷/۳۸۹**	۱۵۱/۱۶۷**	۵۴/۵۹**
سرعت×عمق	۳	۰/۰۲۲**	۱۹/۳۳۳**	۰/۰۶۵**	۰/۰۷۲**	۰/۷۴۷**	۰/۲۷۸**	۰/۵*	۰/۳۹۱**
خطا	۲۴	۰/۰۰۱	۱/۳۳۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۱۱۴	۰/۰۰۱
کل	۳۱								

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد



شکل ۷- ارتباط بین سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و مقاومت کششی موردنیاز زیرشکن

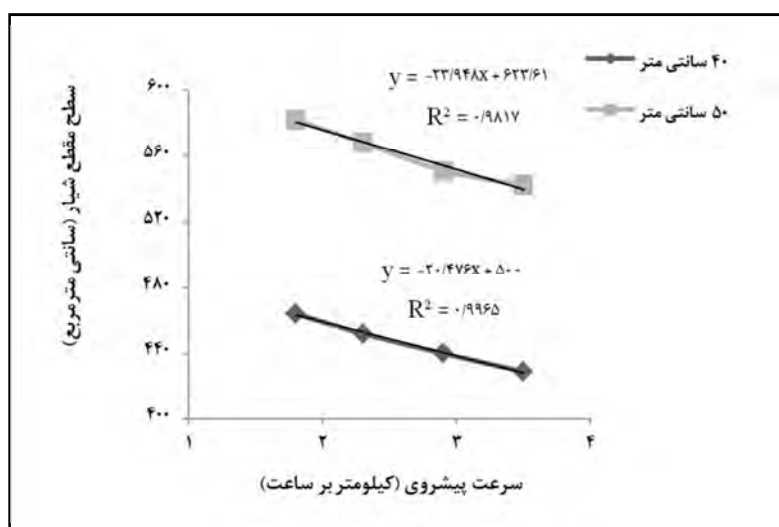
در عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر به میزان ۹/۲۶ کیلونیوتن و کمترین نیرو نیز در سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت در عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متر به میزان ۷/۱۸ کیلونیوتن به دست آمده است. افزایش سرعت پیشروی از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت به ترتیب در دو عمق خاک‌ورزی ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر خاک باعث افزایش مقاومت کششی به میزان ۶/۵ و ۷/۷ درصد شده است. با افزایش ۱۰ سانتی‌متر به عمق عملیات زیرشکنی، مقاومت کششی موردنیاز حدود ۲۱/۳ درصد افزایش یافته است. شکل ۷ همچنین نشان می‌دهد که رابطه بین سرعت پیشروی و مقاومت کششی موردنیاز در هر دو عمق خاک‌ورزی خطی است ($R^2 > 0.95$). از تحقیقات اسماعیل و برکه‌هارت (Ismail & Burkhardt, 1993)،

شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی، مقاومت کششی موردنیاز زیرشکن افزایش می‌یابد (Spoor & Godwin, 1978; Owen, 1989; Sheikh, 1989; Al-Suhaibani & Al-1997; Shahi *et al.*, 2010; Ramadhan, 2011 Janobi, Ramadhan, 2014). با دو برابر شدن سرعت پیشروی، مثلاً از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت، مقاومت کششی افزایش می‌یابد اما دو برابر نمی‌شود. این تناسب با فرمول استاندارد پیش‌بینی مقاومت کششی ASABE و تحقیقات تعداد زیادی از محققان قابل درک است (Crowell & Bowers, 1985; De Souza *et al.*, 1994; Al-Suhaibani *et al.*, 2006; Sahu & Raheman, 2006). بیشترین مقاومت کششی موردنیاز در سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت

اشرفی زاده (Ashrafi Zadeh, 2006)، ساهو و رحمان (Sahu & Raheman, 2006)، معینی فر و همکاران (Moeenifar et al., 2013) و رنجبری‌ان و همکاران (Ranjbarian et al., 2015) نتایجی مشابه به دست آمده است.

۲- اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر سطح مقطع شیار ایجاد شده

جدول ۳ نشان می‌دهد که تغییرات سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و اثر متقابل آنها بر سطح مقطع شیار ایجاد شده معنی‌دار است ($P < 0.01$).



شکل ۸- ارتباط بین سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و سطح مقطع شیار ایجاد شده

شکل ۸ نشان می‌دهد که بیشترین سطح مقطع شیار ایجاد شده به میزان ۵۸۲ سانتی‌متر مربع در سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر و کمترین سطح مقطع شیار نیز به میزان ۴۲۹ سانتی‌متر مربع در سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متر به دست آمده است که با افزایش عمق زیرشکنی از ۴۰ به ۵۰ سانتی‌متر، سطح مقطع شیار ایجاد شده به میزان ۲۵/۶ درصد افزایش می‌یابد. مک کایز و

می‌دهد که با افزایش عمق خاک‌ورزی، سطح مقطع شیار ایجاد شده توسط زیرشکن افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش سرعت پیشروی از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت در دو عمق خاک‌ورزی ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر خاک، سطح مقطع شیار ایجاد شده به ترتیب به میزان ۷/۵ و ۶/۹ درصد کاهش می‌یابد و رابطه بین افزایش سرعت پیشروی و کاهش سطح مقطع شیار ایجاد شده در هر دو عمق، خطی است ($R^2 > 0.95$).

رمدان (Ramadhan, 2011, Ramadhan, 2014) گزارش داده است که با افزایش سرعت پیشروی، سطح مقطع شیار ایجاد شده با زیرشکن به صورت خطی کاهش

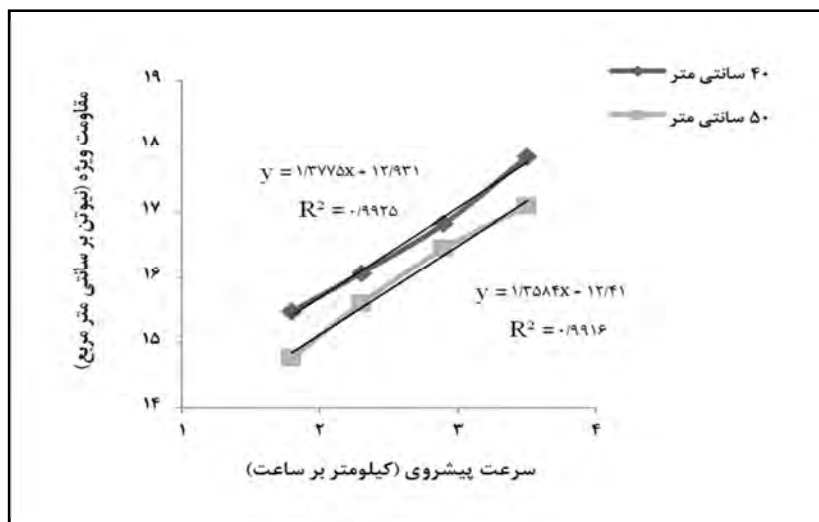
مسوار (McKyes & Maswaure, 1997)، السهبیانی و قالی (Al-Suhaibani & Ghaly, 2010)، رمضان (Ramadhan, 2011, Ramadhan, 2014) نیز گزارش

تأثیر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر...

۳- اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر مقاومت کششی ویژه

جدول ۳ نشان می‌دهد که تغییرات سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و اثر متقابل آنها بر مقاومت کششی ویژه معنی‌دار است ($P < 0.01$).

می‌یابد. استافورد (Stafford, 1979) گزارش کرده است که با افزایش سرعت پیشروی، سطح مقطع شیار ایجاد شده با زیرشکن افزایش می‌یابد. تفاوت نتایج این دو تحقیق شاید آن باشد که در تحقیق اخیر سرعت‌های پیشروی پایین‌تری در نظر گرفته شده است.



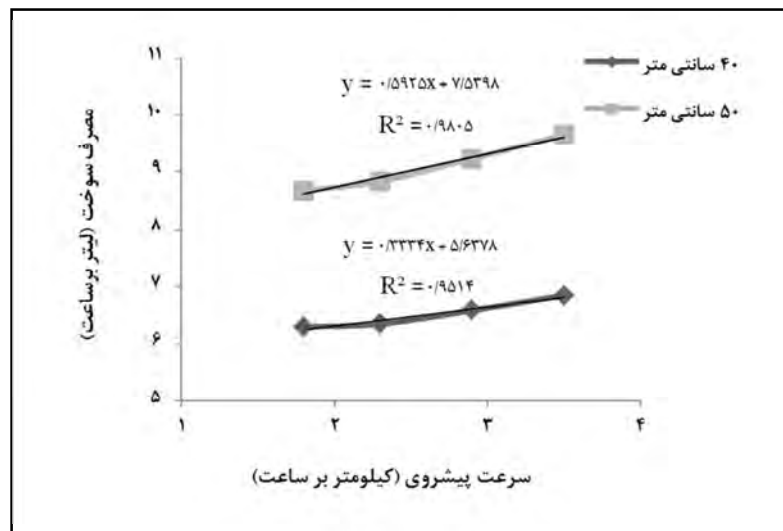
شکل ۹- ارتباط بین سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و مقاومت کششی ویژه

در زیرشکن کاهش می‌یابد. همچنین دیده می‌شود که با افزایش سرعت پیشروی از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت، مقاومت کششی ویژه در عمق‌های خاک‌ورزی ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر به ترتیب به میزان ۱۵/۲ و ۱۵/۶ درصد افزایش می‌یابد. اولاتونجی و دیویس (Olatunji & Davies, 2009) و رمدان (Ramadhan, 2014) نتایجی مشابه گزارش داده‌اند. رابطه بین افزایش سرعت پیشروی و افزایش مقاومت کششی ویژه در هر دو عمق خاک‌ورزی خطی است ($R^2 > 0.95$).

۴- اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر مصرف سوخت

جدول ۳ نشان می‌دهد که تغییرات سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و اثر متقابل آنها بر مصرف سوخت تراکتور معنی‌دار است ($P < 0.01$).

بیشترین مقاومت کششی ویژه به میزان ۱۷/۸۳ نیوتن بر سانتی‌متر مربع در سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متر و کمترین مقاومت کششی ویژه به میزان ۱۴/۷۷ نیوتن بر سانتی‌متر مربع در سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر به دست آمده است. در اینجا می‌بینیم که با افزایش عمق ۱۰ سانتی‌متر به عمق خاک‌ورزی، مقاومت کششی ویژه به میزان ۳/۴ درصد کاهش می‌یابد. افزایش عمق خاک‌ورزی، سطح مقطع شیار ایجاد شده را بیشتر از مقاومت کششی افزایش می‌دهد که منجر به مقاومت کششی ویژه کمتر شده است. میسائو (Misao, 1992)، آرویدسون و همکاران (Arvidsson et al., 2004)، رمدان (Ramadhan, 2011; Ramadhan, 2014) نیز گزارش کردند که با افزایش عمق خاک‌ورزی، مقاومت کششی ویژه



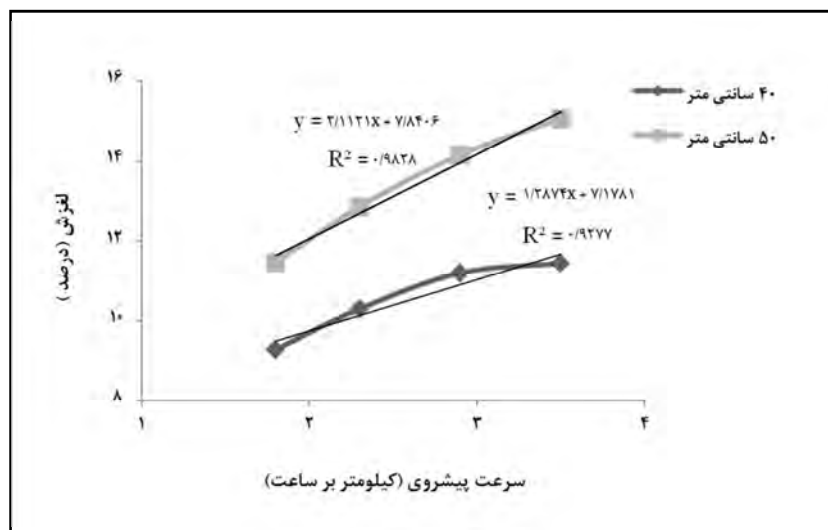
شکل ۱۰- ارتباط بین سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و مصرف سوخت تراکتور

پیشروی و مصرف سوخت را مستقیم (خطی) گزارش کرده است. همچنین، رنج‌ریان و همکاران (Ranjbarian *et al.*, 2015) رابطه بین سرعت پیشروی و مصرف سوخت گاواهن چیزل را مستقیم و کاملاً خطی ($R^2 > 0.99$) گزارش کرده‌اند. با افزایش سرعت پیشروی از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت در دو عمق خاک‌ورزی ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر مصرف سوخت به ترتیب به میزان ۸/۷ و ۱۱/۴ درصد و با افزایش عمق خاک‌ورزی از ۴۰ به ۵۰ سانتی‌متر، مصرف سوخت حدود ۳۹/۶ درصد افزایش می‌یابد.

۵- اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر لغزش

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که تغییرات سرعت پیشروی، عمق و اثر متقابل آنها بر لغزش چرخ‌های محرک معنی‌دار است ($P < 0.01$).

بیشترین مصرف سوخت به میزان ۹/۶۵ لیتر بر ساعت در سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر و کمترین مصرف سوخت نیز به میزان ۶/۳ لیتر بر ساعت در سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متر به دست آمده است. در اینجا به خوبی نشان داده شده است که هم با افزایش عمق خاک‌ورزی و هم با افزایش سرعت پیشروی، مصرف سوخت تراکتور افزایش یافته است. خسروانی و همکاران (Khosravani *et al.*, 1998) نیز گزارش کردند که با افزایش عمق خاک‌ورزی، مصرف سوخت تراکتور افزایش می‌یابد. رابطه بین سرعت پیشروی و مصرف سوخت در هر دو عمق خاک‌ورزی مستقیم و خطی است ($R^2 > 0.95$). الجسیمی (Aljasimy, 1993) و اسماعیل و برکه‌هات (Ismail & Burkhardt, 1993) نیز رابطه بین سرعت



شکل ۱۱- ارتباط بین سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و لغزش چرخ‌های محرک

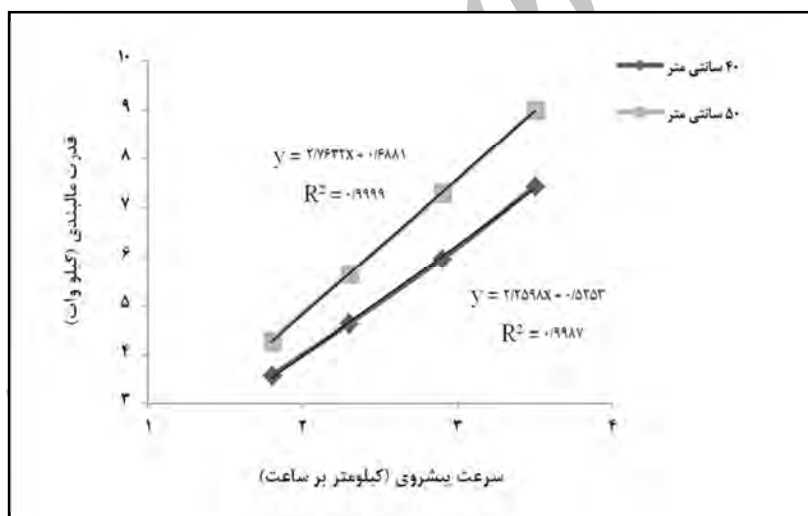
با افزایش سرعت پیشروی و عمق زیرشکنی، میزان لغزش در چرخ‌های محرک افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین لغزش به میزان ۱۵ درصد در سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و در عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر و کمترین لغزش به میزان ۹/۳ درصد در سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت در عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متر اتفاق افتاده است. افزایش سرعت پیشروی از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت در دو عمق خاک‌ورزی ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر باعث افزایش لغزش به ترتیب به میزان ۲/۲ و ۳/۶ درصد شده است. همچنین، با افزایش ۱۰ سانتی‌متر به عمق زیرشکنی، لغزش حدود ۲/۸ درصد افزایش می‌یابد. تراکتور جان دیر ۳۱۴۰ قدرت کافی برای آزمون‌های مزرعه‌ای دارد و مهم‌ترین عاملی که می‌تواند سبب افزایش لغزش در سرعت‌های بالاتر باشد، ساییدگی آج لاستیک‌های عقب و نبود وزنه‌های سنگین‌کننده است. البنا و حسن (Albana & Hassan, 1990)، رحمان و جها (Raheman & Jha, 2007) و رنجبری‌ان و همکاران (Ranjbarian *et al.*, 2015) نیز دریافته‌اند که با افزایش سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی، لغزش چرخ‌های محرک افزایش خواهد یافت. خسروانی و همکاران (Khosravani *et al.*, 1998) و موسوی سیدی (Mosavi Seyyedi, 2009) نیز گزارش کرده‌اند که با افزایش عمق خاک‌ورزی، لغزش چرخ‌های محرک تراکتور افزایش می‌یابد. اما شبی و همکاران (Shebi *et al.*, 1988) و موسوی سیدی (Mosavi Seyyedi, 2009) دریافته‌اند که با افزایش سرعت پیشروی، لغزش چرخ‌های تراکتور کاهش می‌یابد. دلیل اختلاف میان نتایج بررسی‌های این محققان و نتایج به دست آمده از این تحقیق آن است که نوع تراکتورها، آج لاستیک‌های چرخ محرک، ادوات مورد استفاده و شرایط خاک در هر یک از این تحقیقات متفاوت است. رابطه بین سرعت پیشروی و لغزش در عمق‌های ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متری خاک‌ورزی، به صورت چند جمله‌ای درجه دوم با همبستگی بالا ($R^2 > 0.99$) است. اسماعیل و برکه‌هارت (Ismail & Burkhardt, 1993) نیز رابطه بین تغییرات سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی و لغزش چرخ‌های محرک را به صورت چندجمله‌ای درجه دوم گزارش کرده‌اند. اما رنجبری‌ان و همکاران (Ranjbarian *et al.*, 2015) رابطه سرعت پیشروی و لغزش را در مورد گاواهن چیزل، خطی گزارش کرده‌اند. تفاوت در نتایج تحقیقات آنها با نتایج این تحقیق می‌تواند ناشی از تفاوت در تراکتورها و ادوات مورد استفاده و شرایط عملیاتی آزمون‌ها باشد.

با افزایش سرعت پیشروی و عمق زیرشکنی، میزان لغزش در چرخ‌های محرک افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین لغزش به میزان ۱۵ درصد در سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و در عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر و کمترین لغزش به میزان ۹/۳ درصد در سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت در عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متر اتفاق افتاده است. افزایش سرعت پیشروی از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت در دو عمق خاک‌ورزی ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر باعث افزایش لغزش به ترتیب به میزان ۲/۲ و ۳/۶ درصد شده است. همچنین، با افزایش ۱۰ سانتی‌متر به عمق زیرشکنی، لغزش حدود ۲/۸ درصد افزایش می‌یابد. تراکتور جان دیر ۳۱۴۰ قدرت کافی برای آزمون‌های مزرعه‌ای دارد و مهم‌ترین عاملی که می‌تواند سبب افزایش لغزش در سرعت‌های بالاتر باشد، ساییدگی آج لاستیک‌های عقب و نبود وزنه‌های سنگین‌کننده است. البنا و حسن (Albana & Hassan, 1990)، رحمان و جها (Raheman & Jha, 2007) و رنجبری‌ان و همکاران (Ranjbarian *et al.*, 2015) نیز دریافته‌اند که با افزایش سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی، لغزش چرخ‌های محرک افزایش خواهد یافت. خسروانی و همکاران (Khosravani *et al.*, 1998) و موسوی سیدی (Mosavi Seyyedi, 2009) نیز گزارش کرده‌اند که با افزایش عمق خاک‌ورزی، لغزش چرخ‌های محرک تراکتور افزایش می‌یابد. اما شبی و همکاران (Shebi *et al.*, 1988) و موسوی سیدی (Mosavi Seyyedi, 2009) دریافته‌اند که با افزایش سرعت پیشروی، لغزش چرخ‌های تراکتور کاهش می‌یابد. دلیل اختلاف میان نتایج بررسی‌های این محققان و نتایج به دست آمده از این تحقیق آن است که نوع تراکتورها، آج لاستیک‌های چرخ محرک، ادوات مورد استفاده و شرایط خاک در هر یک از این تحقیقات متفاوت است. رابطه بین سرعت پیشروی و لغزش در عمق‌های ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متری خاک‌ورزی، به صورت چند جمله‌ای درجه دوم با همبستگی بالا ($R^2 > 0.99$) است. اسماعیل و برکه‌هارت (Ismail & Burkhardt, 1993) نیز رابطه بین تغییرات سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی و لغزش چرخ‌های محرک را به صورت چندجمله‌ای درجه دوم گزارش کرده‌اند. اما رنجبری‌ان و همکاران (Ranjbarian *et al.*, 2015) رابطه سرعت پیشروی و لغزش را در مورد گاواهن چیزل، خطی گزارش کرده‌اند. تفاوت در نتایج تحقیقات آنها با نتایج این تحقیق می‌تواند ناشی از تفاوت در تراکتورها و ادوات مورد استفاده و شرایط عملیاتی آزمون‌ها باشد.

درصد شده است. همچنین، با افزایش ۱۰ سانتی‌متر به عمق زیرشکنی، قدرت مالبندی حدود ۲۱/۴ درصد افزایش یافته است. این نتیجه کاملاً منطقی به نظر می‌رسد چون قدرت مالبندی حاصل ضرب مقاومت کششی در سرعت پیشروی است و با افزایش مقاومت کششی در سرعت‌های بالاتر و عمق‌های خاک‌ورزی بیشتر، قدرت مالبندی افزایش پیدا خواهد کرد. رابطه بین سرعت پیشروی و قدرت مالبندی در هر دو عمق خاک‌ورزی خطی است ($R^2 > 0.95$). رنج‌بریان و همکاران (Ranjbarian et al., 2015) نیز می‌گویند که با افزایش سرعت پیشروی، قدرت مالبندی تراکتور به صورت خطی افزایش می‌یابد.

۶- اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر قدرت مالبندی تراکتور

شکل ۱۲ نشان می‌دهد که با افزایش سرعت پیشروی و عمق زیرشکنی، قدرت مالبندی تراکتور افزایش یافته است به طوری که بیشترین قدرت مالبندی (به میزان ۹ کیلووات) در سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و در عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر و کمترین قدرت مالبندی به میزان ۳/۶ کیلووات در سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت در عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متر اتفاق افتاده است. افزایش سرعت پیشروی از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت به ترتیب در دو عمق ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متری خاک باعث افزایش قدرت مالبندی تراکتور به میزان ۱۰۷/۲ و ۱۰۹/۴



شکل ۱۲- ارتباط بین سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی با قدرت مالبندی تراکتور

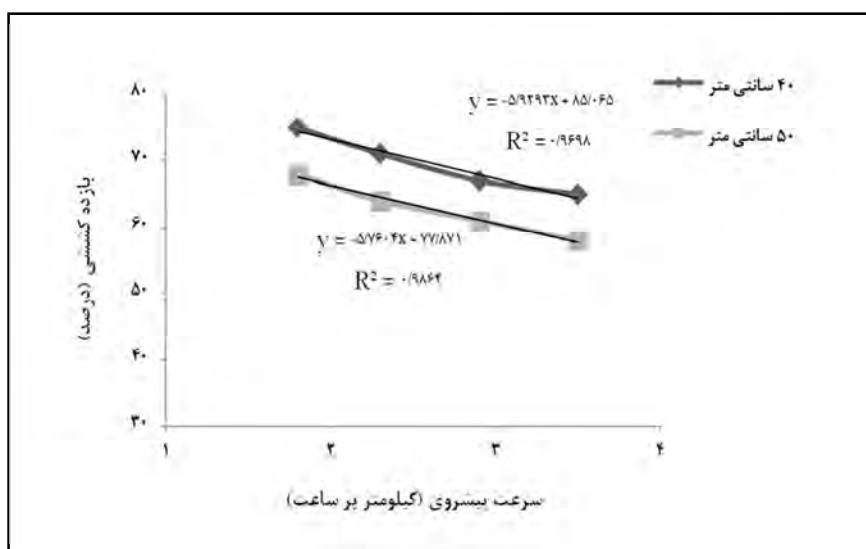
کاهش می‌یابد به طوری که بیشترین بازده کششی به میزان ۷۵ درصد در سرعت پیشروی ۱/۸ کیلومتر بر ساعت و در عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متر و کمترین بازده کششی به میزان ۵۸ درصد در سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و در عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر اتفاق افتاده است. افزایش سرعت پیشروی از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت در هر دو عمق ۴۰ و ۵۰

۷- اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر بازده کششی

داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که تغییرات سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و اثر متقابل آنها بر بازده کششی معنی‌دار است ($P < 0.05$ و $P < 0.01$). شکل ۱۳ نشان می‌دهد که با افزایش سرعت پیشروی و عمق زیرشکنی، بازده کششی تراکتور

پیشروی و بازده کشتی در هر دو عمق خاک‌ورزی خطی است ($R^2 > 0.95$). اسماعیل و برکه‌هاری (Ismail & Burkhardt, 1993) و رنجبریان و همکاران (Ranjbarian *et al.*, 2015) نیز گزارش کردند که با افزایش سرعت پیشروی، بازده کشتی تراکتور به صورت خطی کاهش می‌یابد.

سانتی‌متری خاک باعث کاهش بازده کشتی به میزان ۱۰ درصد شده است. همچنین با افزایش ۱۰ سانتی‌متر به عمق زیرشکنی، بازده کشتی حدود ۶/۷ درصد کاهش می‌یابد. لغزش چرخ‌های محرک عامل مهمی در بازده کشتی است و لغزش بیشتر در سرعت بیشتر، از بازده کشتی می‌کاهد. رابطه بین سرعت



شکل ۱۳- ارتباط بین سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و بازده کشتی تراکتور

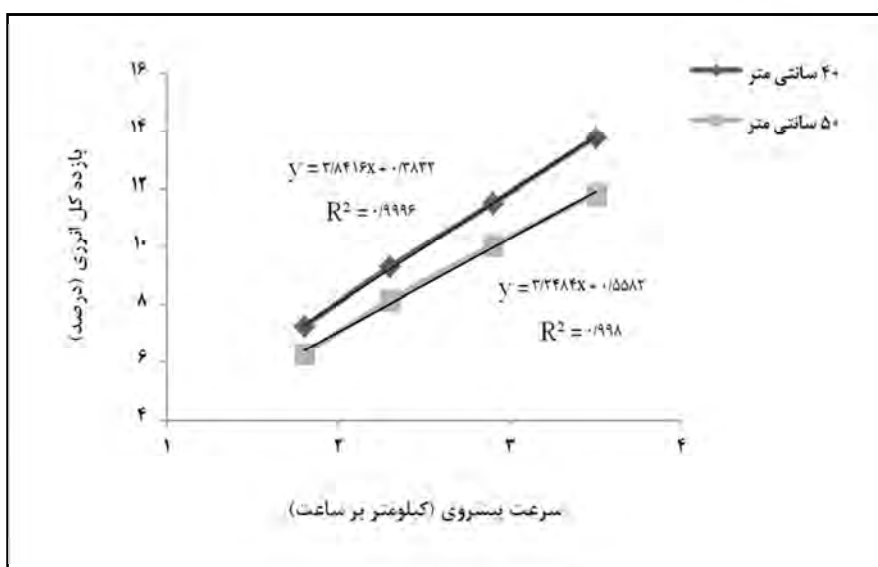
از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت در دو عمق خاک‌ورزی ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متری خاک باعث افزایش بازده کل انرژی به میزان ۶/۵ و ۵/۵ درصد شده است. همچنین با افزایش ۱۰ سانتی‌متر به عمق زیرشکنی، بازده کل انرژی حدود ۱/۴ درصد کاهش داشته است. با تبدیل کردن هر چه بیشتر سوخت مصرفی به کار مفید (قدرت مالمبندی)، بازده کل انرژی بالاتر خواهد رفت و چون تراکتور جان دیر ۳۱۴۰ قوی است، بهتر است تا آنجا که لغزش زیاد نگردد، این تراکتور را در سرعت‌های بالاتر و عمق زیرشکنی معقول‌تر به کار گیریم تا بازده کل انرژی افزایش پیدا کند. می‌بینیم که با افزایش سرعت پیشروی، بازده کل انرژی به بازه ۲۰-۱۰ درصد وارد و نرمال می‌شود، همچنین در سرعت‌های پایین میزان بازده کل انرژی

۸- اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر بازده کل انرژی

داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که تغییرات سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و اثر متقابل آنها بر بازده کل انرژی معنی‌دار است ($P < 0.01$). شکل ۱۴ نیز نشان می‌دهد که با افزایش سرعت پیشروی، بازده کل انرژی در مجموعه تراکتور- زیرشکن افزایش اما با افزایش عمق زیرشکنی، بازده کل انرژی کاهش می‌یابد به طوری که بیشترین بازده کل انرژی به میزان ۱۳/۸ درصد در سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و در عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متر و کمترین بازده کشتی به میزان ۶/۳ درصد در سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت و در عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر اتفاق افتاده است. افزایش سرعت پیشروی

کاهش بازده کشتی انجامیده است. بنابراین، استفاده از سرعت‌های پیشروی بالاتر، لاستیک‌های آچار و وزنه‌های سنگین کننده موجب افزایش قدرت مالبندی، بازده کشتی و بازده کل انرژی می‌شود و لغزش و مصرف سوخت را کاهش خواهد داد. رابطه بین سرعت پیشروی و بازده کل انرژی در هر دو عمق خاک‌ورزی خطی است ($R^2 > 0.95$). رنجباریان و همکاران (Ranjbarian et al., 2015) نیز به این نتیجه رسیده‌اند که با افزایش سرعت پیشروی، بازده کل انرژی در مجموعه تراکتور- ادوات به صورت خطی افزایش می‌یابد.

پایین‌تر از ۱۰ درصد است که نشان می‌دهد تطابق صحیح بین زیرشکن و تراکتور وجود ندارد. کراول و بورز (Crowell & Bowers, 1985) گزارش کرده‌اند که بازده کل انرژی بالاتر نشان‌دهنده تطابق بهتر تراکتور و ادوات است که به افزایش بازده کشتی می‌انجامد. اما در این تحقیق، با افزایش سرعت پیشروی، بازده کل انرژی بیشتر و بازده کشتی کمتر به دست آمده است. نبود وزنه‌های سنگین کننده روی تراکتور و کهنه و بدون آج بودن لاستیک‌ها در چرخ‌های محرک عقب، لغزش و مصرف سوخت تراکتور را در سرعت‌های بالاتر افزایش داده که به



شکل ۱۴- ارتباط بین سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و بازده کل انرژی

کشتی ویژه، مصرف سوخت، لغزش، قدرت مالبندی و بازده کل انرژی، اما سطح مقطع شیار ایجاد شده و بازده کشتی را کاهش می‌دهد. بدین صورت که با افزایش سرعت پیشروی از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت، مقاومت کشتی، مقاومت کشتی ویژه، مصرف سوخت، لغزش، قدرت مالبندی و بازده کل انرژی به ترتیب و به طور میانگین در دو عمق ۴۰ و ۵۰ سانتی متر خاک به میزان ۷،

نتیجه گیری

تجزیه واریانس داده‌های این تحقیق، نتایج زیر را به

دست می‌دهد:

۱- تغییرات سرعت پیشروی، عمق زیرشکنی و اثر متقابل آنها بر تمامی پارامترهای مورد مطالعه در این تحقیق، معنی‌دار است. افزایش سرعت پیشروی منجر می‌شود به افزایش مقاومت کشتی موردنیاز، مقاومت

و شرایط حاکم بر عملیات زیرشکنی به دست آید.
۵- در حالت کلی، برای بهینه کردن عملکرد تراکتور جان دیر ۳۱۴۰ حین زیرشکنی، استفاده از وزنه‌های سنگین کننده، لاستیک‌های آج دار برای چرخ‌های محرک و سرعت‌های پیشروی تا حد ممکن بالاتر و عمق خاک‌ورزی تا حد ممکن کمتر توصیه می‌شود تا از این طریق قدرت مالبندی، بازده کششی و بازده کل انرژی افزایش و مصرف سوخت و لغزش کاهش یابد.

۶- نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت چندان مناسب نیست چون مقاومت کششی، مقاومت کششی ویژه، مصرف سوخت و لغزش را بسیار افزایش و سطح مقطع شیار ایجاد شده و بازده کششی را بسیار کاهش می‌دهد. سرعت‌های پیشروی پایین (۱/۸ و ۲/۳ کیلومتر بر ساعت) نیز مناسب نیستند چون بازده کل انرژی در این سرعت‌ها در هر دو عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر ۱۰ درصد است. همچنین، عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر مناسب نیست چون مقاومت کششی، مصرف سوخت و لغزش را افزایش و بازده کل انرژی را کاهش می‌دهد. پس، مناسب‌ترین تیمار تحت بررسی در این تحقیق به منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی، عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متر و سرعت پیشروی ۲/۹ کیلومتر بر ساعت است.

۱۵/۴، ۱۰، ۲/۹، ۱۰۸/۳ و ۶ درصد افزایش اما سطح مقطع شیار و بازده کششی به ترتیب به میزان ۷/۲ و ۱۰ درصد کاهش می‌یابد.

۲- افزایش عمق زیرشکنی منجر می‌شود به افزایش در؛ مقاومت کششی موردنیاز، سطح مقطع شیار ایجاد شده، مصرف سوخت، لغزش و قدرت مالبندی و کاهش در؛ مقاومت کششی ویژه، بازده کششی و بازده کل انرژی. بدین صورت که با افزایش ۱۰ سانتی‌متر به عمق زیرشکنی، مقاومت کششی موردنیاز، سطح مقطع شیار ایجاد شده، مصرف سوخت، لغزش و قدرت مالبندی به ترتیب حدود ۲۱/۳، ۲۵/۶، ۳۹/۶، ۲/۸ و ۲۱/۴ درصد افزایش و مقاومت کششی ویژه، بازده کششی و بازده کل انرژی به ترتیب به میزان ۳/۴، ۶/۷ و ۱/۴ درصد کاهش می‌یابد.

۳- مشخص شد که استاندارد ASABE مقاومت کششی موردنیاز زیرشکن در سرعت‌های مختلف را کمتر از داده به دست آمده در آزمون‌های مزرعه‌ای پیش‌بینی کرده است و داده مزرعه‌ای در بازه عددی استاندارد قرار دارد. همچنین مشخص شد که اختلاف میان داده‌های مزرعه‌ای و استاندارد، با افزایش عمق خاک‌ورزی کاهش اما با افزایش سرعت پیشروی افزایش می‌یابد.

۴- نتایج بررسی پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق نشان می‌دهد که صرفه‌جویی در مصرف انرژی در هنگام زیرشکنی می‌تواند با ترکیب مناسب تراکتور، ادوات

مراجع

- Abbaspour-Gilandeh, Y. and Khanramaki, M. 2013. Design, construction and calibration of a triaxial dynamometer for measuring forces and moments applied on tillage implements in field conditions. *J. Met. Soc. India*. 28(2): 119-127.
- Albana, A. R. and Hassan, N. S. 1990. Planting equipment for soil harrowing with disc harrow. *The Iraqi. J. Agric. Sci.* 24(2): 260-267.
- Aljasimy, A. S. A. 1993. The technical and economical indicators for soil harrowing with disc harrow. *The Iraqi. J. Agric. Sci.* 242, 260-264.

- Al-Suhaibani, S. A. 1992. Use efficiency of farm machinery in Saudi Arabia. ASAE Paper No. 92-1044. ASAE. St. Joseph, Michigan, USA.
- Al-Suhaibani, S. A. and Al-Janobi, A. 1997. Draught requirements of tillage implements operating on sandy loam soil. *J. Agric. Eng. Res.* 66(3): 177-182.
- Al-Suhaibani, S. A., Al-Janobi, A. A. and Al-Majhadi, Y. N. 2006. Tractors and tillage implements performance. The CSBE/SCGAB 2006 Annual Conference. July. 16-19. Edmonton. Canada.
- Al-Suhaibani, S. A. and Ghaly, A. E. 2010. Effect of plowing depth of tillage and forward speed on the performance of a medium size chisel plow operating in a sandy soil. *Americ. J. Agric. Bio. Sci.* 5(3): 247-255.
- Anon. 2009. Agricultural machinery management data. ASABE Standards, ASAE D497.6.
- Arvidsson, J., Keller, T. and Gustafsson, K. 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil. Till. Res.* 79(2): 221-231.
- Ashrafi Zadeh, S. R. 2006. Modelling of energy requirements by a narrow tillage tool. M. Sc. Thesis. Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan. USA.
- Askari, M., Komarizade, M. H., Nikbakht, A. M., Nobakht, N., and Teimourlou, R. F. 2011. A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements. *Res. Agric. Eng.* 57, 128-136.
- Clark, R. L. and Adsit, A. H. 1985. Microcomputer based instrumentation system to measure tractor field performance. *Trans. ASAE.* 28(2): 393-396.
- Crowell, G. and Bowers, J. R. 1985. Southeastern tillage energy data and recommended reporting. *Trans. ASAE.* 28(3): 731-737.
- De Souza, E. G., Lima, J. S. S. and Milanez, L. F. 1994. Overall efficiency of tractor operating in the field. *Trans. ASAE.* 106, 771-775.
- Glancey J. L., Upadhyaya, S. K., Chancellor, W. J. and Rumsey, J. W. 1996. Prediction of agricultural implement draft using an instrumented analog tillage tool. *Soil. Till. Res.* 37, 47-65.
- Harrigan, T. M. and Rotz, C. A. 1995. Draft relationships for tillage and seeding equipment. *App. Eng. Agric.* 11 (6): 773-783.
- Ismail, W. I. W. and Burkhardt, T. H. 1993. Draft and fuel requirements measurement using tractor on-board data acquisition system. *Pertanika J. Sci. Tech.* 1(1): 51-64.
- Khosravani, A., Loghvi, M. and Solhjoo, A. 1998. Evaluation and comparison of traction performance of middle power tractors in Iran. Proceedings of the 1st National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Karaj, Iran. (in Persian).
- Mckyes, E. and Maswaure, J. 1997. Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of a clay soil. *Soil. Till. Res.* 43(3): 195-204.
- McLaughlin, N. B., Drury, C. F., Reynolds, W. D., Yang, X. M., Li, Y. X., Welacky, T. W., and Stewart, G. 2008. Energy inputs for conservation and conventional primary tillage implements in a clay loam soil. *Trans. ASABE.* 51, 1153-1163.
- Misao, Y. 1992. Studies on mechanical subsoil breaking (Part2). The characteristic failure performance for rotary subsoil breaker with a chisel type subsoiler. *J. Japan. Soc. Agric. Mach.* 54(1): 27-37.
- Moenifar, A. M., Kalantari, D. and Mousavi Seyedi, S. R. 2013. Application of dimensional analysis in determination of traction force acting on a narrow blade. *Int. J. Agric. Crop. Sci.* 59, 1034-1039.

- Mosavi Seyyedi, S. R. 2009. Evaluation the operational parameters of U650 tractor under different speeds and depths. Proceedings of the National Conference on Water, Soil, Plant and Mechanization Sciences. Islamic Azad University of Dezful. Dezful. Iran. (in Persian).
- Olatunji, O. M. and Davies, R. M. 2009. Effect of weight and draught on the performance of disc plough on sandy-loam soil. Res. J. App. Sci. Eng. Tech. 1(1): 22-26.
- Owen, G. T. 1989. Subsoiling forces and tool speed in compact soils. Can. Agric. Eng. 31, 15-20.
- Raheman, H. and Jha, S. K. 2007. Wheel slip measurement in 2WD tractor. J. Terramech. 44(2): 89-94.
- Ramadhan, M. N. 2011. Field study to evaluate the mechanical performance of the double tines longitudinally arranged subsoiler and its effect on some growth characteristics of barley hordeum vulgare L. M. Sc. Thesis. College of Agriculture, Basrah University. Basrah. Iraq.
- Ramadhan, M. N. 2014. Development and performance evaluation of the double tines subsoiler in silty clay soil part1: draft force, disturbed area and specific resistance, Mesopotamia J. Agric. 421, 293-313.
- Ranjbarian, S., Askari, M. and Jannatkah, J. 2015. Performance of tractor and tillage implements in clay soil. J. Saudi. Soc. Agric. Sci. (in Press)
- Raper, R. L. 2002. The influence of implement type, tillage depth and tillage timing on residue burial. Trans. ASAE. 455, 1281-1286.
- Sahu, R. K. and Raheman, H. 2006. Draught prediction of agricultural implements using reference tillage tools in sandy clay loam soil. Biosys. Eng. 94(2): 275-284.
- Serrano Joao, M., Peça, J. O. and Santos, F. 2005. Draft and fuel requirement's in tillage operations: modeling for optimizing tractor - implement systems. Proceedings of the EFITA/WCCA Joint Congress in Agriculture. VILA Real. Portugal.
- Shahi, N., Shahgholi, G. and Biranvand, M. 2010. Modelling of soil-blade interaction and effect of speed and depth on subsoiler performance using discrete element method (DEM). Proceedings of the 6th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. University of Tehran. Karaj. Iran (in Persian).
- Shebi, J., Oni, K. C. and Braide, F. G. 1988. Comparative tractive performance of three tractors. Agric. Mech. Asia. 192, 25-29.
- Sheikh, G. S. 1989. Agricultural mechanization research development and planning. J. Agric. Sci. 21, 3-4.
- Spoor, G. and Godwin, R. J. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. J. Agric. Eng. Res. 2(3): 243-259.
- Stafford, J. V. 1979. The performance of a rigid tine in relation to soil properties and speed. J. Agric. Eng. Res. 24(1): 41-56.

Effect of Forward Speed and Tillage Depth on Tractor-Subsoiler Performance

M. Askari^{*}, Gh. Shahgholi, Y. Abbaspour-Gilandeh and H. Tash-Shamsabadi

* Corresponding Author: Ph.D student of mechanics of agricultural machinery, Faculty of agricultural sciences and natural resources, University of mohagheh ardabili, Ardabil, Iran. Email: engmohammadaskari@gmail.com
Received: 17 October 2015, Accepted: 8 February 2016

The current research investigated the draft force, soil disturbance area, specific draft, tractor fuel consumption, slippage of drive wheels, drawbar power, traction efficiency, and overall energy efficiency of subsoiling. The effects of forward speed (1.8, 2.3, 2.9 and 3.5 km/h) and depth (40 and 50 cm) on these parameters were evaluated using a randomized complete block design. An increase in forward speed increased draft force by 7%, specific draft by 15.4%, fuel consumption by 10%, wheel slippage by 2.9%, drawbar power by 108.3%, and overall energy efficiency by 6% and decreased soil disturbance area by 7.2% and traction efficiency 10%. Increasing the subsoiling depth increased the draft force by 21.3%, soil disturbance area by 25.6%, fuel consumption by 39.6%, wheel slippage by 2.8%, and drawbar power by 21.4% and decreased specific draft by 3.4%, traction efficiency by 6.7%, and overall energy efficiency by 1.4%. The most efficient operating settings were a working depth of 40 cm with a forward speed of 2.9 km/h.

Keywords: Traction efficiency, Overall energy efficiency, Subsoiler, Fuel consumption, Draft force