عملکرد زیر شکن کج ساق توام با تیغه‌های سطحی در یک خاک با بافت رسی

محمدحسین رئوفت و مجید کاظمی نجف آبادی[۱]

چکیده

در تحقیق حاضرکه به منظور رفع مشکلات و کاهش انرژی مورد نیاز خاک ورزی عمیق در مزارع نیشکر در میان آب خوزستان انجام پذیرفت، سعی گردید که با تعبیه تیغه‌های سطحی در جلوی زیر شکن کج ساق، نیروی کشش لازم کاهش و ویژگی‌های فیزیکی خاک بهبود یابند. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل ۶ تیمار و در سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارها عبارت بودند از: اول زیرشکنی به کمک تیغه‌های ریپر سوار بر بولدوزر، دوم زیرشکن کج ساق بدون تیغه سطحی، سوم و چهارم زیر شکن کج ساق با یک تیغه سطحی در عمق‌های ۱/۲ و ۱/۳ عمق اصلی و پنجم و ششم، زیر شکن کج ساق همراه با دو تیغه سطحی در عمق‌های ۱/۲ و ۱/۳ عمق اصلی. نتایج نشان داد که در میان تیمارهای زیرشکن کج ساق، زیرشکن کج ساق بدون تیغه‌های سطحی، دارای بیشترین مقاومت کششی بوده و در سایر تیمارهای زیر شکن کج ساق به لحاظ تعبیه تیغه‌های سطحی، مقاومت کششی کاهش یافته است. افزایش عمق و تعداد تیغه‌های سطحی در کاهش نیروی کششی مؤثر بوده است. زیرشکن کج ساق با دو تیغه سطحی و در عمق ۱/۲ عمق اصلی، دارای کمترین توان مصرفی بوده و در مجموع تعبیه تیغه‌های سطحی در عمق‌های یاد شده به طور متوسط ۲۱ درصد توان مصرفی را نسبت به زیر شکن کج ساق بدون تیغه‌های سطحی کاهش داد. سطح به هم خورده خاک و هم‌چنین سطح مقطع خاک به هم خورده به ازای عرض واحد در تیمار ریپر حداقل بود. به طور متوسط به کارگیری تیمارهای زیرشکن کج ساق، سطح به هم خورده به ازای عرض واحد در مقایسه با تیمار ریپر را تا ۲/۳ برابر افزایش داد. سایر نتایج بیانگر آن است که بیشترین شاخص مخروطی مربوط به تیمار ریپر بوده و تیمار زیرشکن کج ساق بدون تیغه سطحی و زیر شکن کج ساق با تیغه‌های سطحی، کاهش شاخص مخروطی را موجب گردیده‌اند. درصد لغزش چرخ‌های محرک تراکتور در کلیه تیمارهای زیر شکن کج ساق در دامنه ۱۶- ۱۲ درصد قرار داشته و بدین ترتیب گزینه مناسبی جهت زیرشکنی در اراضی سنگین، پیش رو قرار می گیرد.

واژه‌های کلیدی: زیرشکنی، زیرشکن کج ساق، تیغه‌های سطحی، نیشکر

مقدمه

امروزه به کارگیری ادواتی چون زیرشکن‌ها جهت انجام عملیات خاک ورزی عمیق مزارع با خاک سنگین و متراکم، به منظور افزایش تخلخل خاک، بهبود تهویه، نفوذ مناسب آب در خاک، تقلیل مقاومت خاک در مقابل رشد ریشه گیاه و دسترسی بهتر گیاه به مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است. از جمله عوامل محدود کننده استفاده از زیرشکن‌ها، مصرف بالای انرژی در واحد سطح، افزایش هزینه عملیات و احتمال ایجاد تراکم

۱. به ترتیب دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.10.7]

مجدد خاک را می‌توان نام برد (۱و۲). تحقیقات انجام شده در راستای رفع مشکلات مذکور، منجر به طراحی و ساخت ادوات جدیدی به نام‌های زیرشکن پارا پلو (Para plow) و کج ساق (Plow bentleg) گردیده است. این ادوات با ساختار ویژه خود در عین این که خاک را زیر و رو نمی‌نمایند، ساختمان خاک را در هم شکسته و از آن رو که نیاز به نیروی کششی کمتری دارند و بقایای گیاهی سطحی را حفظ می‌نمایند، مورد توجه قرار گرفته‌اند (۶، ۷ و ۱۶).

هاریسون (۸)، گاو آهن جدیدی به نام گاو آهن کج ساق را به عنوان اختراعی نوین در شخم عمیق و با راندمان بالا معرفی نمود. عدم وجود نوک گوه‌ای و کفش، وجه تمایز این وسیله از گاوآهن پارا پلو می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها مزرعه‌ای حاکی از افزایش نیروی کششی مصرفی به ازای افزایش عمق و عرض کار بوده است و هم‌چنین جهت تعادل جانبی بایستی دستگاه مذکور را در حالت متقارن به کار گرفت. بنا به نظر ویلیامز (۱۶) راندمان انرژی مصرفی گاو آهن کج ساق تجاری جهت انجام زیر شکنی بیشتر از زیر شکن معمولی باله دار است. زیرا گاو آهن کج ساق در مقایسه با زیر شکن معمولی باله دار به‌هنگام کار در عمق مشخص، خاک را کمتر به‌هم می‌زند.

مجیدی و رئوفت (۱۰) تحقیقاتی را با استفاده از یک گاوآهن کج ساق منفرد راست گرد با زاویه تمایل ۳۰ درجه انجام دادند. نتایج حاصل بیانگر آن بود که مقاومت کششی گاوآهن کج ساق در زاویه حمله ۷/۵ درجه حداقل بوده و با افزایش عمق کاری، مقاومت کششی گاوآهن کج ساق در مقایسه با گاوآهن برگردان دار (تیمار شاهد)، بیشتر گردیده اما مقاومت ویژه آن به طور محسوسی کمتر است. این امر تاکیدی بر بالا بودن راندمان مصرف انرژی در گاو آهن کج ساق می‌باشد.

در ادامه رئوفت و مشهدی (۲) تحقیقاتی را به منظور تعیین فاصله بهینه بین دو واحد گاو آهن کج ساق و تعیین فاصله بین دو ردیف متوالی گاو آهن مذکور، جهت دست‌یابی به خاک ورزی مطلوب همراه با توان مصرفی کم انجام دادند. بخشی از نتایج حاصله بیانگر اثر معنی‌دار فاصله بین تیغه‌ها و عمق خاک ورزی بر مقاومت کششی بود، به طوری که افزایش هر یک، موجب افزایش مقاومت کششی می‌گردید. براساس نتایج مطالعات روستاپور (۱) زیرشکن کج ساق در دامنه رطوبتی بیشتری نسبت به سایر زیرشکن‌ها قادر به کار است. بدین لحاظ از نظر مدیریت و زمان استفاده از آن محدودیت‌های کمتری وجود دارد.

تورس و همکاران (۱۵)، زیر شکنی به نام دوساق (Double Shank) را جهت آماده سازی و عملیات بازروئی (Ratooning) مزارع نیشکر مورد ارزیابی قرار دادند. این زیر شکن شامل دو ساق خمیده که در یک راستا و پشت سرهم قرار دارند، بود. تیغه جلوئی در عمق حدود ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر و تیغه عقبی در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری کار می‌کرد. به دلیل خرد شدن خاک سطحی توسط تیغهٔ جلویی، عمق بحرانی برای تیغه عقبی پائین‌تر رفته و بدین لحاظ سطح مقطع خاک به هم خورده و میزان خرد شدن خاک در عمق زیرین افزایش یافته و مقاومت ویژه کاهش یافت. نتایج حاصل از کاربرد این زیرشکن در مزارع با بافت خاک رسی سنگین حاکی از آن است که سطح مقطع به هم خورده توسط این زیرشکن حدود ۲۵۰۰ سانتی‌متر مربع برابر با ۱/۸ برابر سطح مقطع خاک به هم خورده توسط زیر شکن معمولی بوده و اندازه کلوخ‌های ایجاد شده توسط زیر شکن دو ساق، کوچک تر از کلوخ‌های زیر شکن مرسوم بود.

روستاپور (۱) در مطالعات خود نسبت به طراحی و ساخت زیرشکن کج ساق با حداکثر عمق اسمی ۸۵ سانتی‌متر اقدام کرد. این زیرشکن از نوع منفرد با دو سری ساقه و تیغه به صورت متقابل و با زاویه تیغه ۳۰ درجه ساخته شد. این زیر شکن در آزمایش‌های مزرعه‌ای درخاک لومی رسی در رطوبت‌های مختلف و در سه عمق ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر به کار گرفته شد و نتایج با عملکرد دو زیرشکن ساقه خمیده (Curved shank subsoiler) و معمولی (Conventional subsoiler) مقایسه گردید. نتایج حاصله بیانگر آن بود که زیرشکن معمولی دارای حداکثر و زیرشکن کج ساق حداقل نیروی کشش به ازای هر ساق می‌باشند، هم‌چنین با کاهش رطوبت خاک و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.10.7]

افزایش عمق کار، مقاومت کششی افزایش می‌یابد. حداقل بودن نیروی کششی لازم به ازای هر ساق، از مزایای عمده زیرشکن کج ساق نسبت به دو زیرشکن دیگر بود. هم‌چنین در زمین خاک‌ورزی شده توسط زیرشکن کج ساق، بالاترین متوسط مقدار شاخص مخروطی (متوسط ارقام اندازه‌گیری شده درعرض کارزیرشکن) نسبت به زمین خاک ورزی شده با دو نوع زیرشکن دیگر مشاهده گردید.

اسپور و گادوین (۱۴) در طی یک تحقیق اثر تیغه‌های سطحی بر مقاومت کششی و سطح مقطع به هم خورده خاک را در مورد زیر شکن یک شاخه بالدار مورد مطالعه قرار دادند. آزمایش‌ها در عمق ۴۰ سانتی متری و درخاک رسی انجام گرفت. دو تیغه سطحی در اعماق ۱۶ و ۲۴ سانتی‌متری و در فواصل ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری مورد ارزیابی قرارگرفتند. نتایج حاصل بیانگر آن بود که اضافه کردن تیغه‌های سطحی، بر مقاومت کششی تأثیر داشته و هم‌چنین اندازه سطح مقطع خاک به هم خورده را نیز افزایش می‌دهد. مقاومت ویژه برای این حالت به حداقل مقدار خود می‌رسد.

در تحقیق دیگری، میلکد و همکاران (۱۱)، اثر قرارگیری یک تیغه سطحی بالدار را روی عملکرد زیرشکن مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل بیانگر آن است که در تمام موارد، اضافه کردن تیغه سطحی موجب افزایش گسیختگی در خاک شده و عمق بحرانی را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، راندمان انرژی مصرفی و هم‌چنین میزان به هم خوردگی خاک افزایش می‌یابند.

گازر و لغوی (۴) درتحقیقات خود، اثرات اضافه نمودن تیغه‌های سطحی بر مقاومت کششی و سطح مقطع خاک به هم خورده در سه فاصله بین تیغه‌ای در عمق ۲۵ سانتی‌متر در مقایسه با زیرشکن یک شاخه بدون تیغه‌های سطحی درعمق ۵۰ سانتی‌متر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل بیانگر آن بود که تعبیه تیغه سطحی بر مقاومت کششی، سطح مقطع خاک به هم خورده، مقاومت ویژه، شاخص مخروطی و جرم مخصوص ظاهری آثار معنی‌دار دارد و در عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری این پارامترها روند کاهشی دارند. با توجه به تحقیقات قبلی (۱ و ۲)، این زیر شکن علاوه بر کاهش چشمگیر توان مصرفی، موجب فشرده شدن لایه‌های زیرین نگردیده و رطوبت خاک نیز عامل عمده محدود کننده کار این دستگاه نمی‌باشد.

در محل انجام تحقیق حاضر به دلیل سنگین بودن بافت اراضی منطقه، اختلاف رطوبت بین لایه‌های سطحی و عمقی زیاد بوده و با وجود خشک بودن خاک سطحی، خاک زیرین مرطوب می‌باشد (رطوبت اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری به ترتیب حدود ۱۰ و ۱۵ درصد خاک خشک بود) ؛ لذا به‌کارگیری زیر شکن کج ساق که در رطوبت‌هایی بالاتر از رطوبت گاو رو نیز می‌تواند کار کند، در این اراضی انتخاب مناسبی می‌باشد. از طرفی با افزایش رطوبت خاک به ویژه در اراضی با بافت سنگین، عمق بحرانی تیغه‌های خاک ورز بالاتر آمده و احتمال قرارگیری تیغه در زیر عمق بحرانی افزایش می‌یابد؛ لذا در این تحقیق انضمام تیغه‌های سطحی به منظور پایین بردن عمق بحرانی زیر شکن نیز مد نظر قرار گرفت.

جلگه خوزستان به دلیل داشتن آب و اراضی مساعد و گسترده و هم‌چنین واقع بودن در شمالی‌ترین منطقه نیشکر کاری در نیمکره شمالی، می‌تواند ایران را در زمره مدعیان عمده تولید شکر در دنیا قرار دهد. اما به لحاظ بافت سنگین و نیمه سنگین اراضی مذکور، احیا و آماده سازی این اراضی مستلزم انجام عملیات خاک ورزی سنگین، از جمله شکستن طبقات خاک قبل از خاک ورزی به کمک ریپرهای سوار بر بولدوزر می‌باشد. این عملیات به طور معمول در دو نوبت انجام و حتی ممکن است به نوبت سوم نیز نیاز باشد (۱ و ۳). عمق زیرشکنی گاهی تا محدوده ۸۰ تا ۹۰ سانتی‌متر نیز توصیه می‌گردد. لذا لازم است که با استفاده از تمهیداتی، نیروی کششی مورد نیاز را کاهش داد. یکی از این روش‌ها استفاده از زیرشکن کج ساق و اضافه نمودن تیغه‌ها سطحی و افزایش عمق بحرانی است.

در تحقیق حاضرکاهش توان مورد نیاز عملیات زیرشکنی و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.10.7]

در نتیجه کاهش هزینه عملیات خاک ورزی، بررسی اثر استفاده از زیر شکن کج ساق مجهز به تیغه‌های سطحی و یابدون تیغه‌های سطحی بر کشش مورد نیاز و چگونگی بهبود سایر شاخص‌های خاک‌ورزی در مقایسه با روش مرسوم، مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در اراضی کشت و صنعت میان آب واقع در منطقه هفت تپه در حدود ۳۰ کیلومتری غرب شوشتر انجام گرفت (جدول ۱). زیر شکن کج ساق مورد استفاده از نوع منفرد با دوسری ساقه و تیغه با زاویه تمایل ۳۰ درجه بود. در راستای انجام این مطالعه، سه قطعه ناودانی بر روی شاسی زیرشکن تعبیه گردید (شکل ۱)، به طوری که دو موقعیت به دست آمد: وضعیت یک تیغه سطحی (در وسط شاسی) و وضعیت دو تیغه سطحی (به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر به طوری که نسبت به مرکز شاسی متقارن باشند). هم‌چنین عمق کار تیغه‌ها نیز قابل تغییر بود، به طوری که تیغه‌های سطحی در دو وضعیت قابل نصب بودند. با توجه به بافت سنگین خاک (رسی، رسی سیلتی محل آزمایش) و هم‌چنین انجام آزمایش‌های مقدماتی با دستگاه نفوذ سنج مخروطی که حاکی از شدت تراکم ساختمان خاک بود، از تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹، با توان لگامی ۱۱۰ اسب بخار (در دور موتور ۲۲۰۰ دور در دقیقه) استفاده گردید. جهت به حرکت در آوردن سه واحد رییر، از بولدوزر کوماتسو D155 با توان موتور ۳۲۰ اسب بخار (در دور موتور۲۰۰۰ دور در دقیقه) که استفاده از آن در منطقه معمول می‌باشد، استفاده شد.

زیرشکن مذکور برای زاویه‌های نفوذ صفر، ۷/۵، ۱۵، ۲۲/۵ درجه قابل تنظیم بود، اما با توجه به نتایج مطالعات مجیدی و رئوفت (۱۰)، برای این مطالعه زاویه نفوذ ۷/۵ درجه انتخاب شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از ریپر سوار بر بولدوزر R (شیوهٔ خاک ورزی معمول در منطقه)، زیر شکن کج ساق بدون تیغهٔ سطحی (Sw) در عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک، زیرشکن کج ساق مجهز به یک تیغهٔ سطحی در جلو در دو عمق (t_1d_1 و t_1d_2 ، به ترتیب در عمق‌های ۱/۲ و ۱/۳ عمق کار زیرشکن) و زیرشکن کج ساق مجهز به دو تیغه سطحی در جلو در دو عمق (t_2d_1 و t_2d_2 ، به ترتیب در عمق‌های ۱/۲ و ۱/۳ عمق کار زیرشکن). انتظار می‌رفت که تعبیه تیغه‌های سطحی در اعماق ۲۵ و ۱۷ سانتی‌متری سطح خاک (به ترتیب d_1 و d_2) موجب گردد که علاوه بر انجام خاکورزی سطحی (شبیه یک گاو آهن قلمی) در فضای بین تیغه‌های زیر شکن، موجبات کاهش کشش مصرفی کل مجموعه نیز فراهم گردد. در هر آزمایش متغیرهای مقاومت کششی، شاخص مخروطی (در عمق‌های ۱۰-۰ ، ۲۰-۱۰ ، ۳۰-۲۰ ، ۴۰-۳۰ ، ۵۰-۴۰ سانتی‌متر) و سطح مقطع خاک به هم خورده اندازه‌گیری گردید. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. قابل ذکر است که در تیمار ریپر سوار، به علت نبود امکانات لازم جهت اندازه‌گیری مقاومت کششی، فقط سایر متغیرها مورد بررسی قرار گرفتند. بافت خاک مزرعه آزمایشی سیلتی رسی و رسی و رطوبت خاک در هنگام انجام آزمایش‌ها در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، در حدود ۱۰ درصد وزن خاک خشک و در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر در حدود ۱۵ درصد وزن خاک خشک بود. ابعاد تقریبی هر کرت برابر با ۳۰×۲۵ متر انتخاب گردید (جدول ۱).

در هر آزمایش، مقاومت کششی زیرشکن کج ساق در مسافتی که تراکتور به سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و زیر شکن کج ساق نیز به عمق نهایی (۵۰ سانتی‌متری سطح خاک) خود می‌رسید، به کمک دینامومتر و با استفاده از روش RNAM(۱۳) اندازه‌گیری گردید. در حین انجام آزمایش با اندازه‌گیری مسافت طی شده و مدت زمان طی آن مسافت، سرعت پیشروی تعیین و بااستفاده از مقاومت کششی اندازه‌گیری شده، توان مالبندی از رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$DBP = \frac{F.S}{۳/۶} \qquad [۱]$$

که در آن،

DBP = توان مالبندی تراکتور، kW

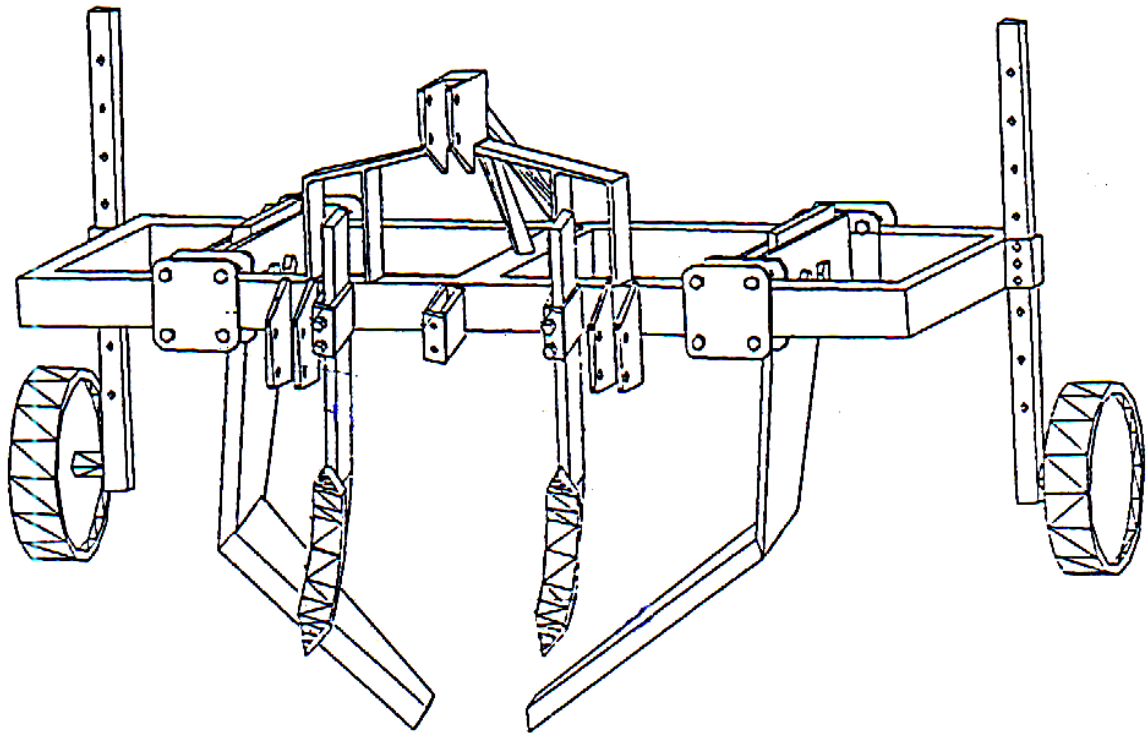
F = مقاومت کششی زیر شکن، kN

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.10.7]

جدول ۱. بافت خاک مزرعه آزمایشی در محدوده عمق‌های مختلف

عمق (سانتی‌متر)	درصد شن (%sand)	درصد رس (%Clay)	درصد سیلت (%Silt)	بافت
۰ –۱۵	۱۶	۴۳	۴۱	سیلتی – رسی
۱۵ – ۳۰	۱۴/۵	۵۰	۳۵/۵	رسی
۳۰–۴۵	۱۳	۵۱	۳۵/۵	رسی
۴۵ – ۶۰	۱۱/۵	۵۰	۳۸/۵	رسی
۶۰–۷۵	۱۴	۴۷	۳۹	رسی



شکل ۱. نحوه انضمام تیغه‌های سطحی به یک دستگاه زیرشکن کج ساق

S = سرعت پیشروی تراکتور، kmh^{-1}

برای تعیین درصد لغزش چرخ‌های محرک تراکتور از روش دور ثابت استفاده شد؛ بدین صورت که هنگامی که تراکتور به سرعت مورد نظر و زیرشکن کج ساق نیز به عمق مطلوب می‌رسید، مسافت طی شده به ازای تعداد دور معینی از گردش چرخ عقب تراکتور اندازه‌گیری می‌گردید. یک بار دیگر بدون این که زیرشکن کج ساق درخاک فرو برده شود، مسافت طی شده به ازای همان تعداد دور قبلی چرخ عقب تراکتور اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه ۲ درصد لغزش چرخ‌های محرک محاسبه گردید.

$$\text{درصد لغزش چرخ} = \frac{la - lb}{la} \times ۱۰۰\% \qquad [۲]$$

که در آن :

la = مسافت طی شده به ازای دور ثابت چرخ عقب تراکتور در حالت بدون بار

lb = مسافت طی شده به ازای دور ثابت چرخ عقب تراکتور در حالت با بار

جهت اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک از دستگاه فرو سنج مدل SP1000 ساخت شرکت Findly Irvine استفاده گردید. قطر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.10.7]

قائده مخروط آن ۱۲/۸۳ میلی‌متر و زاویه راس آن ۳۰ درجه بود. در هر کرت آزمایشی از وسط دستگاه در هر طرف تعداد ۸ نفوذ به صورت عرضی به فاصله ۱۰ سانتی‌متر حداکثر تا عمق ۵۰ سانتی‌متر انجام گرفت. میزان رطوبت در زمان اندازه‌گیری مشابه زمان اندازه‌گیری مقاومت کششی بود. قبل از انجام عملیات خاک‌ورزی به دلیل متراکم بودن خاک سطحی و کم بودن رطوبت آن امکان هیچ گونه آزمایش تعیین مقاومت خاک میسر نشد.

به منظور اطلاع دقیق از چگونگی و اندازه سطح مقطع خاک ورزی شده در هر تیمار، اقدام به حفر پروفیل خاک گردید. بدین منظور در هر کرت اقدام به ایجاد پروفیل عرضی عمود بر جهت حرکت کرده و به کمک خط کش در فواصل ۱۰ سانتی‌متری، به طور افقی برروی لبه پروفیل عمق سطح مقطع اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب شکل هرسطح مقطع با کنار هم قرار دادن این ذوزنقه‌ها به دست آمده و مساحت آن نیز قابل محاسبه گشت. به منظور مقایسه سطح مقطع خاک به هم خورده به ازای عرض واحد، عرض کار بولدوزر ۳ متر (بولدوزر دارای سه تیغه به فواصل ۱۰۷ سانتی‌متر بود.) و عرض کار اسمی زیرشکن کج ساق برابر شرحی که در ادامه خواهد آمد، یک متر در نظر گرفته شد که این مقدار برابر با فاصله دو تیغه زیرشکن مجاور می‌باشد. از تقسیم سطح مقطع خاک به هم خورده بر عرض کار اسمی، معیار سطح مقطع خاک به هم خورده به ازای عرض واحد به دست آمد. لازم به تذکر است که طبق آزمایشات رئوفت و مشهدی (۲)، فاصله بهینه بین دو واحد زیرشکن کج ساق برابر ۱۲۲ سانتی‌متر و فاصله بین دو ردیف متوالی ۱۲۷/۵سانتی‌متر می‌باشد؛ اما باتوجه به این که تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹، قادر به کشیدن زیر شکن کج ساق با این عرض کار و عمق بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر در اراضی سنگین و متراکم محل آزمایش نبود، لذا با نزدیک کردن دو واحد زیرشکن روی شاسی، عرض کار به یک متر کاهش داده شد.

نتایج و بحث

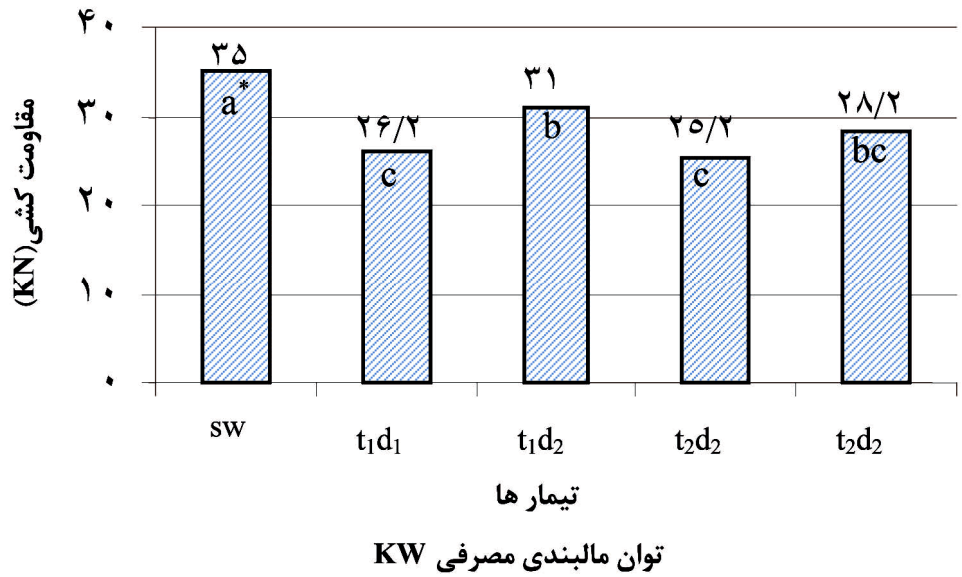
مقاومت کششی و توان مصرفی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس مشخص گردید که تیمارها از نظر مقاومت کششی با احتمال ٪۹۹ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. مقایسه میانگین‌ها در شکل ۲ نشان می‌دهد که مقاومت کششی تیمارهای t_1d_1، t_1d_2،t_2d_1 و t_2d_2 با تیمار Sw دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند و بدین ترتیب تعبیه تیغه‌های سطحی در جلوی تیغه اصلی موجب گردیده که لایه‌های بالائی خاک جلوتر از تیغه اصلی توسط تیغه‌های سطحی سست شده و با سست شدن لایه بالایی خاک، تیغه‌های اصلی با انرژی کمتر خاک پایین را خرد کرده و به طرف بالا برانند، به دلیل آن که تیغه‌های سطحی برای خرد کردن لایه‌های سطحی انرژی کمتری از تیغه‌های اصلی برای شکستن لایه‌های سطحی مصرف می‌کنند، در مجموع نیروی کششی کاهش یافته است. با بررسی تیمارهایی که دارای تیغه سطحی هستند دیده شد که نیروی کششی در مورد تیمارهای t_1d_2 ، t_2d_2 ،t_1d_1 و t_2d_1 به ترتیب کاهش یافته است. این مساله نشان دهنده آن است که با افزایش تعداد تیغه‌های سطحی از یک تیغه به دو تیغه و افزایش عمق کاری تیغه‌های سطحی از ۱/۳ عمق تیغه اصلی به ۱/۲ عمق تیغه اصلی، نیروی کشش کاهش می‌یابد. این پدیده بدین ترتیب قابل توجیه است که با اضافه شدن عمق و تعداد تیغه‌های سطحی، تأثیر آنها در سست نمودن لایه‌های سطحی خاک افزایش می‌یابد؛ یعنی حجم بیشتری از خاک سطحی را خرد و سست می‌کنند و این مساله باعث می‌گردد که بار مقاومت بر روی تیغهٔ زیرشکن کاهش بیشتری پیدا کند. باید توجه داشت که به کارگیری یک تیغه در ۱/۲ عمق کار تیغه اصلی (t_1d_1)، با به کار بردن یک تیغه در ۱/۳ عمق کار تیغه اصلی (t_1d_2)، از نظر نیروی کشش مورد نیاز متفاوت هستند؛ اما به کارگیری یک تیغه در ۱/۲ عمق اصلی (t_1d_1) و به کارگیری دو تیغه در همان عمق (t_2d_1) از نظر مصرف نیروی کششی به طور آماری تفاوت ندارد. یعنی اثر عمق کار بر نیروی کشش، بیش از اثر تعداد تیغه‌ها بوده است.

هم‌چنین شکل ۲ حاوی اطلاعاتی درخصوص تفاوت مقدار توان مصرفی برای تیمارهای مختلف نیز می‌باشد که باتوجه به سرعت یکسان در تیمارها اختلافات موجود در مقدار مقاومت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.10.7]



شکل ۲. نمودار مقایسه میانگین مقاومت کششی برای تیمارهای مختلف

SW زیر شکن کج ساق بدون تیغه سطحی، t_1d_1 یک تیغه سطحی – عمق اصلی، t_1d_2 یک تیغه سطحی عمق اصلی، t_2d_1 دوتیغه سطحی عمق اصلی، t_2d_2 دوتیغه سطحی عمق اصلی * ستون‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند، اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن ۱٪).

کششی، در مقدار توان مصرفی نیز وجود دارد. در حالی که تیمار زیر شکن بدون تیغه‌های سطحی به توانی در حدود ۳۵ کیلو وات نیاز دارد، متوسط توان مصرفی تیمارهای دارای تیغه‌های سطحی و در اعماق مختلف برابر ۲۷/۶ کیلو وات بوده است. یعنی به طور متوسط، توان مصرفی در نتیجه اضافه نمودن تیغه‌های سطحی، ۲۱٪ کاهش یافته است که مقدار قابل توجهی است.

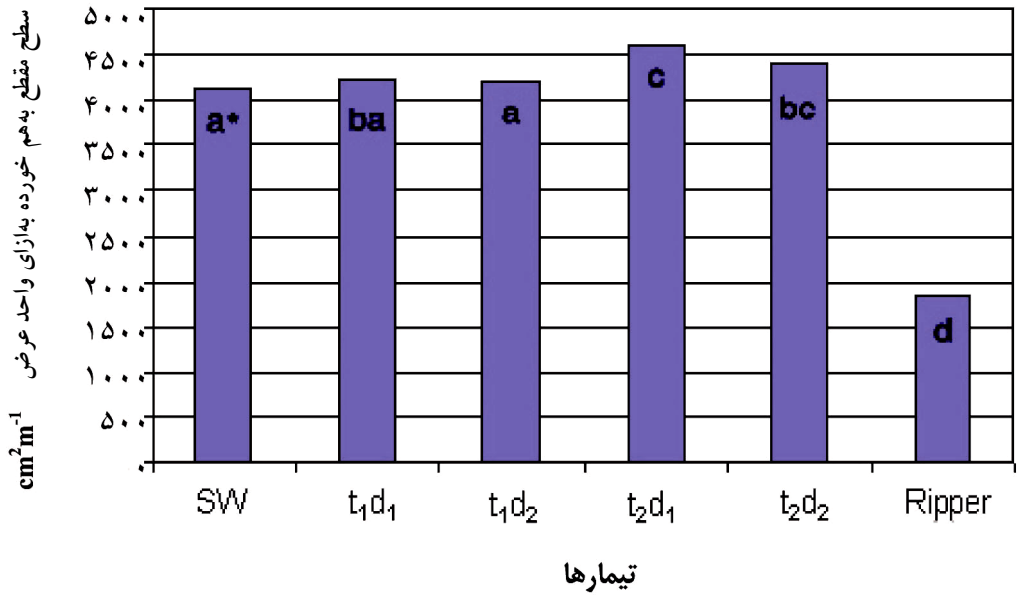
تورس و همکاران (۱۵) توان کششی مورد نیاز زیر شکن‌های مرسوم را در محدوده ۹۰ تا ۱۱۰ کیلووات اعلام داشته‌اند که این مقدار از توان مصرفی زیرشکن‌های کج ساق مورد استفاده در تحقیق حاضر بسیار فراتر است. نتایج مشابهی نیز در ارتباط با استفاده از تیغه‌های سطحی به منظور کاهش مقاومت کششی، افزایش سطح مقطع خاک به هم خورده و کاهش مقاومت ویژه به لحاظ تعبیه تیغه‌های سطحی در جلو زیرشکن توسط اسپور و گادوین (۱۴)، میلکد و همکاران (۱۱) و گازر و لغوی (۴) گزارش شده است.

برابر نظرات پیجن (۱۲) وکوکسلی (۵)، زیرشکن کج ساق در طی عملیات خاک ورزی، لایه‌های خاک را در سر جای خود به سمت بالا حرکت داده، شکسته و خرد می‌کند. افزودن تیغه‌های سطحی در بین دو تیغه اصلی زیرشکن موجب گردیده است تا خاک بین دو تیغه ابتدا مورد حمله قرار گرفته، خرد شود و سپس تیغه‌های اصلی توان مصرفی خود را صرف شکستن لایه‌های پایینی نمایند. در این حالت تأثیر خاک سطحی خاک ورزی شده روی نیروی کشش مورد نیاز تیغه‌های اصلی، فقط ناشی از وزن توده است. بدین ترتیب نیروی مصرفی کل زیر شکن کاهش عمده‌ای می‌یابد.

اگر چه نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که افزایش تعداد و عمق تیغه‌های سطحی در محدوده مورد مطالعه موجب کاهش نیروی کشش مورد نیاز زیرشکن گردیده است (شکل ۲)، نتایج کار سایر محققین (۸) حاکی ازاین است که افزایش تعداد و عمق کار تیغه‌های سطحی پس از یک عمق معین، تاثیر چندانی بر کاهش نیروی کشش لازم برای تیغه‌های زیرشکن ندارد؛ بلکه افزایش نیروی کشش تیغه‌های سطحی روند شدیدتری را در پی خواهد داشت که این روند با توان دوم عمق کاری تیغه‌ها (که از نوع تیغه‌های باریک می‌باشند) رابطه مستقیم دارد (۹)، در این صورت در مجموع نیروی کشش کل افزایش خواهد یافت.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.10.7]



شکل ۳. نمودار میانگین سطح مقطع خاک به‌هم خورده به‌ازای عرض واحد برای تیمارهای مختلف
SW زیر شکن کج ساق بدون تیغه سطحی، t_1d_1 یک تیغه سطحی عمق اصلی، t_1d_2 یک تیغه سطحی عمق اصلی، t_2d_1 دو تیغه سطحی عمق اصلی، t_2d_2 دوتیغه سطحی عمق اصلی * ستون‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند، اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن ۱٪)

سطح مقطع خاک به‌هم خورده

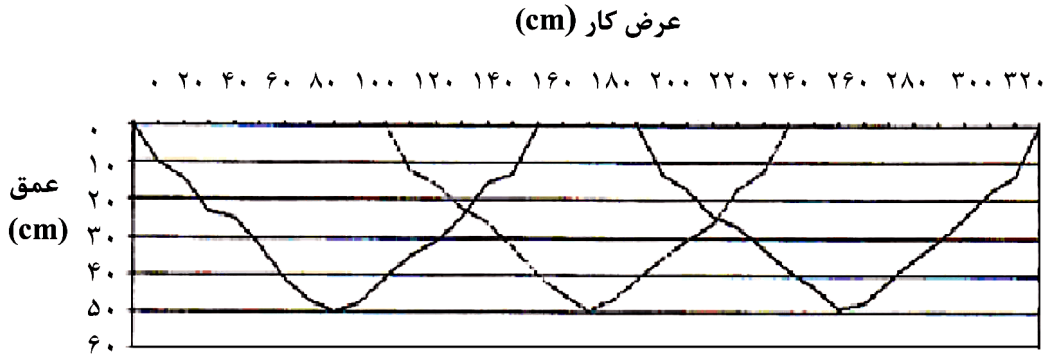
تجزیه واریانس داده‌های آزمایش حاکی از آن است که تیمارها از نظر سطح مقطع خاک به هم خورده به احتمال ۹۹٪ با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. اعداد مندرج در شکل ۳ بیانگر آن است که با افزایش تعداد تیغه‌ها، سطح مقطع خاک به هم خورده به طور معنی‌داری افزایش یافته است. هم‌چنین کاهش عمق کار تیغه‌های سطحی، سطح مقطع خاک به هم خورده را کاهش داده است؛ اما این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. بیشترین سطح مقطع مربوط به تیمار t_2d_1 بوده است.

در مورد تیمارهای t_2d_1 وt_2d_2 که به ترتیب بیشترین سطح مقطع را دارند استدلال این است که دو تیغه چیزل در فاصله ۵۰ سانتی‌متری یکدیگر در جلوی تیغه‌های اصلی نصب شده‌اند؛ به طوری که فاصله هر تیغه سطحی نسبت به تیغه اصلی نزدیک خود برابر ۲۵ سانتی‌متر می‌باشد. لذا حرکت این تیغه‌ها در جلوی زیرشکن موجب سست شدن خاک نزدیک تیغه‌های اصلی می‌شود و بعد از این که خاک سست شد، تأثیر تیغه اصلی بر دیواره جانبی بیشتر شده و خاک طرفین بیشتر خرد می‌شود. در مورد آثار عمق تیغه‌های سطحی نیز چنین می توان گفت که افزایش عمق کار این تیغه‌ها موجب سست شدن خاک در اعماق پایین‌تر شده و لذا تأثیر تیغه‌های اصلی بر دیواره‌های جانبی بیشتر خواهد شد (شکل ۴ و ۵).

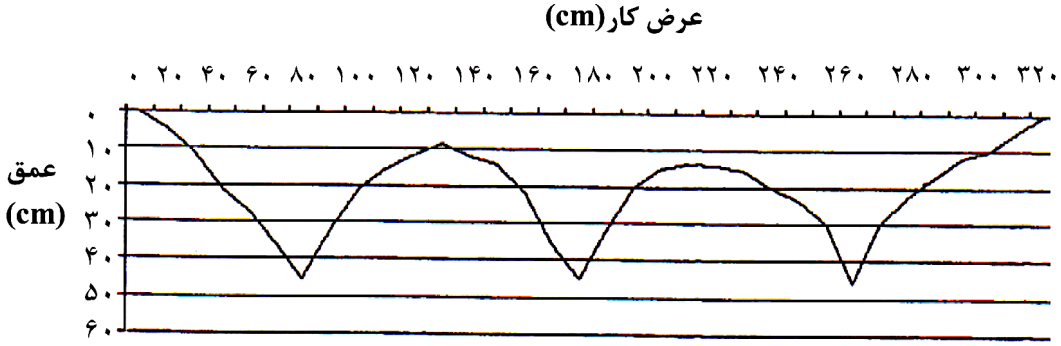
شکل ۳ هم‌چنین نشان می‌دهد که سطح مقطع خاک به هم خورده برای تیمار بولدوزر بسیار کمتر از سایر تیمارها می‌باشد. با توجه به سطح مقطع حاصل از کار بولدوزر می‌بایست بولدوزر برای تکمیل خاک ورزی، عملیات دوم زیرشکنی را با زاویه حداکثر ۴۵ درجه نسبت به مسیر مرحله اول اجرا کند. علت این امر آن است که حرکت بولدوزر به موازات مسیر قبلی به لحاظ احتمال قرار گیری چرخ‌ها بر مسیرهای کاملاً سست غیر ممکن است. از طرفی در صورت حرکت بولدوزر عمود بر مسیر زیر شکن قبلی، مجدداً قسمتی از ناحیه‌هایی که در دور قبلی خاک ورزی نشده است، این مرتبه نیز خاک ورزی نمی‌گردد.

شاخص سطح مقطع خاک به هم خورده به ازای عرض کار واحد، معیاری است که می‌تواند برای مقایسه تیمارها به کار

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.10.7]



شکل ۴. متوسط سطح مقطع به‌هم خورده خاک دو سرردیف توسط تیمارهای زیر شکن کج ساق



شکل ۵ . سطح مقطع خاک به‌هم خورده توسط ریپرهای متصل به بولدوزر

گرفته شود. شکل ۳ نشان می‌دهد که معیار سطح مقطع خاک به هم خورده به ازای عرض کار واحد در اثر استفاده از زیرشکن کج ساق نسبت به تیمار ریپر به طور معنی‌داری افزایش داشته است.

بدین ترتیب استفاده از زیرشکن کج ساق موجب افزایش شاخص سطح مقطع خاک به هم خورد به ازای عرض کار واحد گردیده است. به عبارت دیگر به کارگیری زیرشکن بدون تیغه‌های سطحی، سطح مقطع خاک ورزی شده به ازای عرض کار واحد را به بیش از ۲/۲ برابر درمقایسه با تیمار بولدوزر افزایش می‌دهد. این امر به معنای افزایش قابل توجه راندمان خاک ورزی توسط زیرشکن کج ساق می‌باشد. با اضافه نمودن تیغه‌های سطحی می‌توان راندمان خاک ورزی را افزایش بیشتری داد. برای مثال اضافه نمودن دو تیغه سطحی در عمق ۱/۲ عمق اصلی (تیمار t_2d_1)، موجب می‌گردد که سطح مقطع خاک ورزی شده تا حد ۲/۴ برابر نسبت به تیمار بولدوزر افزایش یابد.

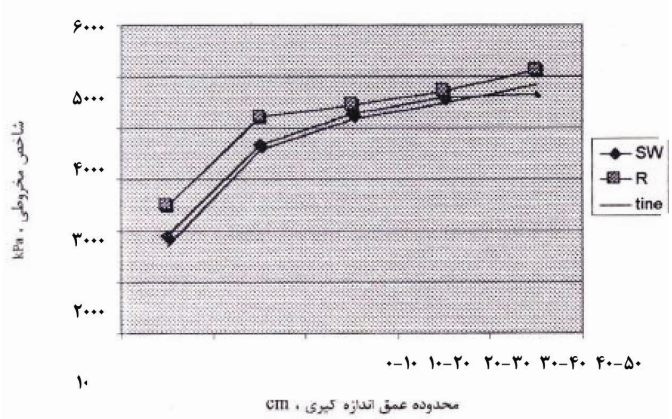
مقاومت به نفوذ خاک

از اهداف مهم زیرشکن زنی و خاک ورزی اولیه خردکردن خاک، شکستن لایه‌های متراکم به منظور ایجاد شرایط لازم برای تهویهٔ مناسب خاک، افزایش هدایت هیدرولیکی آب و فراهم آوردن محیطی مناسب جهت رشد ریشه می‌باشد. کاهش میزان مقاومت به نفوذ خاک به عنوان بارزترین اثر زیرشکن زنی در عمق‌های مختلف مطرح می‌باشد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از اثرات معنی‌دار تیمارها بر شاخص مخروطی خاک می‌باشد.

جدول ۲ مقایسه میانگین شاخص مخروطی برای محدوده‌های مختلف عمق و تیمارهای شش گانه را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار شاخص مخروطی مربوط به تیماررریپر می‌باشد؛ این امر در تمام محدوده‌های عمق مورد آزمایش صادق است. هر چند که در این تیمار، خاک در قسمت عبور تیغه‌ها به مقدار زیادی نرم می‌شود، اما به علت وجود کلوخ‌های بزرگ و وجود فاصله زیاد بین تیغه‌های مجاور بولدوزر و در

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.10.7]



شکل ۶. مقایسه اثرات ریپر (R) زیرشکن کج ساق بدون تیغه سطحی (SW) و میانگین تیمارهای زیر شکن کج ساق با تیغه‌های سطحی (tine) برشاخص مخروطی

جدول ۲. مقایسه میانگین شاخص مخروطی برای تیمارهای مختلف (kPa)

تیمارهای آزمایش	۴۰-۵۰ سانتی‌متر	۳۰-۴۰ سانتی‌متر	۲۰-۳۰ سانتی‌متر	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰-۱۰ سانتی‌متر
Sw	۴۶۷۴$^{b\times}$	۴۵۸۹^{ab}	۴۲۷۹ ^{a}	۳۶۷۰^{ab}	۱۹۰۵ ^{b}
t_1d_1	۴۷۸۷ ^{ab}	۴۳۱۳ ^{cd}	۴۲۱۷ ^{a}	۳۴۸۰^{bc}	۱۳۸۷^{c}
t_1d_2	۴۶۶۹ ^{b}	۴۵۰۳ ^{bc}	۴۳۹۳^{a}	۳۵۲۱^{bc}	۱۴۹۰^{c}
t_2d_1	۴۶۸۲ ^{b}	۴۲۴۴ ^{d}	۳۶۰۰^{b}	۲۹۹۹ ^{c}	۱۳۵۹ ^{c}
t_2d_2	۴۸۶۶^{ab}	۴۴۳۱ ^{bcd}	۴۲۴۱^{a}	۳۵۵۷ ^{bc}	۱۳۸۳^{c}
R	۵۰۰۰^{a}	۴۷۰۵^{a}	۴۴۳۴ ^{a}	۴۲۱۳^{a}	۲۴۸۰^{a}

* : درهرستون میانگین‌های با حروف دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (دانکن ۱٪).

نتیجه باقی ماندن قسمت‌های دست نخورده در بین تیغه‌ها، نوعی غیر یک‌نواختی به وجود می‌آید. این غیر یک‌نواختی در مجموع باعث بالا رفتن مقاومت به نفوذ خاک در این تیمار نسبت به سایر تیمارها شده است. بعد از تیمار ریپر، بیشترین مقدار میانگین شاخص مخروطی خاک مربوط به تیمارSw می‌باشد که این امر به علت خاک ورزی کمتر در بین دو تیغهٔ زیرشکن کج ساق حاصل شده است. سایر تیمارها که دارای تیغه سطحی می‌باشند در اکثر موارد، از این نظر اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. بدین ترتیب در هر محدوده با افزایش تعداد تیغه‌های سطحی، مقدار شاخص مخروطی کاهش پیدا کرده است، هم‌چنین در هر محدوده با افزایش عمق کار، شاخص مخروطی کاهش یافته است؛ هر چند که این کاهش در غالب موارد معنی‌دار نبوده است.

به طور کلی با افزایش عمق برای هر تیمار، شاخص مخروطی افزایش پیدا می‌کند که علت آن را می‌توان وجود لایه‌های فشرده‌تر و دارای جرم مخصوص ظاهری بیشتر در اعماق زیاد دانست. هم‌چنین به دلیل وزن خاک لایه‌های بالاتر، خاک زیرین کمتر شکسته و متخلخل می‌شود. ذکر این نکته حائز اهمیت است که شکست یک‌نواخت خاک در اثر زیرشکنی به ویژه با زیرشکن نوع کج ساق به لحاظ عوامل متعددی چون تغییرات رطوبت در عمق، تغییرات فشردگی خاک، فاصله بین تیغه‌های خاک ورز و فاصله بین هر ردیف با ردیف بعدی حاصل نمی‌گردد و بدین لحاظ

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.10.7]

تغییرات در مقادیر شاخص مخروطی دور از انتظار نیست. شکل ۶ نشان می‌دهد که برای تمامی محدوده اعماق مورد مطالعه، زیرشکن ریپر، زیرشکن کج ساق بدون منضمات و زیرشکن کج ساق با منضمات به ترتیب بیشترین، متوسط و کمترین مقاومت به نفوذ را در خاک به خود اختصاص داده‌اند.

لغزش چرخ‌های محرک تراکتور

تجزیه واریانس ارقام جمع آوری شده در خصوص لغزش چرخ‌های تراکتور و هم‌چنین مقایسه میانگین ارقام مربوط به تیمارهای مختلف بیانگر آن است که تیمارهای مختلف روی این شاخص تأثیرات معنی‌داری نداشته‌اند. میانگین درصد لغزش چرخ‌های محرک برای تیمار زیر شکن کج ساق بدون تیغه سطحی برابر ۱۶ درصد و میانگین آن برای چهار تیمار دیگر زیر شکن کج ساق دارای تیغه‌های سطحی برابر با ۱۴ درصد می‌باشد. بر اساس تحقیقات زوز (۱۷)، محدوده بهینه لغزش چرخ‌های محرک جهت حصول حداکثر بازده کششی در خاک‌های سفت ۱۵ – ۱۰ درصد و در اراضی خاک ورزی شده ۱۸ – ۱۳ درصد می‌باشد. از طرفی بنا به توصیه زوز (۱۷) بهتر است که لغزش چرخ‌های محرک تراکتور برابر یا بیشتر از آنچه که برای به دست آوردن حداکثر بازده کششی لازم است باشد. بدین ترتیب از آن جا که دامنه لغزش در مطالعه حاضر ۱۶ – ۱۴ درصد می‌باشد، در مقایسه با محدوده توصیه شده مناسب است.

نتیجه‌گیری

۱. به کارگیری مجموعه زیرشکن کج ساق بدون تیغه‌های سطحی و یا با تیغه‌های سطحی و در اعماق مورد مطالعه همراه با تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ عملی می‌باشد.

۲. تعبیه تیغه‌های سطحی در جلو زیرشکن موجب گردید تا مقاومت کششی و توان مصرفی کاهش یابد. به کارگیری تیغه‌های سطحی توان مصرفی زیر شکن کج ساق را به طور متوسط حدود ۲۱ درصد کاهش داد. لازم به ذکر است که نیروی کششی لازم، با افزایش تعداد و عمق تیغه‌های سطحی کاهش می‌یابد؛ این افزایش در برخی موارد معنی‌دار نبوده است.

۳. کمترین مقدار در شاخص سطح خاک به هم خورده به ازای عرض واحد مربوط به تیمار ریپر و بیشترین آن مربوط به تیمارهای زیرشکن کج ساق می‌باشد. با به کار گیری زیرشکن کج ساق این شاخص به حدود ۲/۲ برابر نسبت به تیمار ریپر افزایش یافت. تعبیه تیغه‌های سطحی افزایش بیشتر این شاخص را به دنبال داشته است.

۴. سطح خاک ورزی شده با تیمار ریپر از یک‌نواختی کمتری برخوردار بوده است و شاخص مخروطی آن در بالاترین سطح قراردارد. با به کارگیری زیرشکن کج ساق و هم‌چنین تیغه‌های سطحی، شاخص مخروطی درغالب موارد به طور معنی‌داری کاهش یافته است.

۵. نتایج نشان می دهد که به کار گیری تیمار t_2d_1 (زیر شکن کج ساق با دو تیغه سطحی و در عمقی برابر ۱/۲ عمق تیغه اصلی) موجب کاهش مقاومت کششی، افزایش سطح مقطع خاک به هم خورده، کاهش قابل توجه شاخص مخروطی خاک و در صد لغزش قابل قبول چرخ‌های تراکتور می‌گردد؛ بدین ترتیب به کارگیری این تیمار توصیه می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. روستاپور، ا. ر. ۱۳۷۸. ساخت یک دستگاه زیرشکن کج‌ساق به منظور خاک‌ورزی عمیق و مقایسه عملکرد آن با زیرشکن‌های معمولی و ساقه خمیده. پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۲. رئوفت، م.ح. و ح. مشهدی. ۱۳۷۸. تعیین فاصلهٔ بهینه بین تیغه‌های گاوآهن کج‌ساق متقابل برای دستیابی به خاک‌ورزی مطلوب. مجله علوم کشاورزی ایران۳۰(۲):۳۱۹-۳۳۰.

۳. کاظمی نجف آبادی، م. ۱۳۸۱. انطباق کاربردی زیرشکن کج ساق جهت خاک ورزی در مزارع نیشکر. پایان نامه کارشناسی ارشد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.10.7]

مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۴. گازر، ح. ر. و م. لغوی. ۱۳۷۷. تأثیر تیغه‌های سطحی بر مقاومت کششی زیرشکن و خصوصیات فیزیکی خاک. مجموعه چکیده مقالات اولین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون، کرج.

5. Cooksley, J. 1981. A new concept in soil care. Arable Farming Magazing, Agust, PP.1-5.
6. Harrison, H. P. 1990. Soil reacting forces for two tapered bentleg plows. Trans. ASAE 33(5): 1473-1476.
7. Harrison, H. P. 1988. Soil reacting forces for a bentleg plow. Trans. ASAE 31(1): 47-51.
8. Harrison, H. P. and Z. J. licsko. 1989a. Soil reacting wrenches and dynamics for three models of bentleg plows. Trans. ASAE 32(1): 50-53.
9. Luth, H. J. and R. D. Wismer. 1971. Performance of plane soil cutting blades in sand. Trans. ASAE 14(2): 255-262.
10. Majidi Iraj, H. and M. H. Raoufat. 1997. Power Requirement of a bentleg plow and its effects on soil physical conditions. Iran Agric. Res. 16(1): 1-16.
11. Milked, L. N., R. D. Grisso, L. L. Bashford and A. M. Parkhurst. 1991. Bi-level subsoiler performance using tandem shanks. Appl Eng. in Agric. 7(1):81-85.
12. Pidgeon, J. D. 1982. "Paraplow"-A rational approach to soil management. Proc. 9th Conference of International Soil Tillage Research Organization ISTRO, Osijek, Yugoslavia.
13. Regional Network for Agricultural Machinery. 1983. RNAM Test Codes and Procedures for Farm Machinery. Technical Series, No. 12, Philipines.
14. Spoor, G. and J. Godwin. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. J. Agric. Eng. Res. 23:243-258.
15. Torres, J. S., L. F. Villegas, F. Villegas and J. P. Raigosa. 1999. A double shank subsoiler for sugar cane cultivation. XXIII, ISSCT Congress, NewDehli, India. 135-142.
16. Williams, M. 1981. Enter a new kind of plow. Power Farming Magazing, October, PP.34-35.
17. Zoz, F. M. 1972. Predicting tractor field performance. Trans. ASAE 15: 249-255.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.10.7]