مجله علوم کشاورزی ایران
جلد ۳۶، شماره ۴، سال ۱۳۸۴ (۱۰۵۲-۱۰۴۵)

اثر عمق و زاویه حمله بر مقاومت کششی زیرشکن تیغـه مورب

علی اسحاق‌بیگی[۱]، احمد طباطبائی‌فر[۲]، علیرضا کیهانی[۳] و محمدحسین رئوفت[٤]
۱، ۲، ۳، دانشجوی دوره دکتری، دانشیار و استادیار دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران
٤، دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
تاریخ پذیرش مقاله ۸۳/۷/۲۲

خلاصه

زاویه حمله یا نفوذ تیغـه ادوات خاک ورز، عامل نفوذ وسیله خاک‌ورز بداخل خاک می‌باشد. تعیین زاویه حمله بهینه، با توجه به تاثیر آن در مقاومت کششی و نفوذ بهتر در خاک، در هر وسیله ضروری بـه نظر می‌رسد. به منظور بررسی اثر عمق و زاویه حمله در زیرشکن تیغه مورب، آزمایشات مزرعه ای به صورت کرت های خرد شده فاکتوریل، با سه تکرار در مزارع تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی فارس، زرقان در خاک لوم رسی با رطوبت ۱۰ درصد بر اساس وزن خشک اجرا گردید. عمق به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح ۲۵۰، ۳۵۰ و ٤۵۰ میلی متر و چهار زاویه حمله ۷/۵، ۱۵، ۲۲/۵ و ۳۰ درجه به عنوان فاکتورهای فرعی در نظر گرفته شد. مقاومت کششی، سطح مقطع خاک بهم خورده و شاخص مخروط خاک از جمله متغیرهای مورد بررسی بود. سرعت پیشروی تراکتور نیز ۳/۵ کیلومتر بر ساعت در تمام طول آزمایش ثابت در نظر گرفته شد. تجزیه واریانس مقادیر مقاومت کششی نشان داد که عمق و زاویه حمله در سطح یک درصد، تاثیر معنی داری بر مقاومت کششی زیرشکن تیغه مورب داشت. مقایسه میانگین حاکی از افزایش مقاومت کششی با افزایش عمق و زاویه حمله بود. با افزایش عمق کار، سطح مقطع بهم خورده خاک در اکثر تیمارها افزایش یافت، اما زاویه حمله تاثیری برسطح بهم خورده خاک نداشت. با افزایش عمق کار، شاخص مخروط خاک کاهش یافت، اما افزایش زاویه حمله تاثیری در کاهش این شاخص نداشت. از آنجایی کـه میانگین متغیرها تفاوت معنی داری مابین زاویه حمله ۷/۵ درجه و ۱۵ درجه نشان نداد و نفوذ زیرشکن تیغه مورب در زاویه حمله ۱۵ درجه بهتر بود؛ این زاویه به عنوان زاویه حمله بهینه زیرشکن تیغه مورب معرفی گردید.

واژه‌های کلیدی: زیرشکن، زاویه حمله، تیغه مورب، کج ساق، مقاومت کششی

مقدمه

فشردگی خاک به بیان ساده عبارتست از کـاهش فضای خالی بین ذرات و خاکدانه‌هـای خاک که با افزایش جرم مخصوص ظاهری آن همراه می‌باشد. گادارد و همکاران (۱۹۹۱) نشان دادند که تردد زیاد ماشین‌های کشاورزی در سطح مزرعه و انجام عملیات شخم در عمق ثـابت بتدریج موجب فشردگی خاک گردید و این فشردگی سبب محدود شدن رشد ریشه گیاه و کاهش عملکرد محصول شـد. راقه وان و همکاران (۱۹۷۷) با انجام آزمایشات مزرعه ای بر روی خاک شنی رسی نشان دادند که لغـزش چرخ های تراکتور و درصد رطوبت خاک دو عامل موثر بر ایجاد فشردگی خاک بود. بر اساس آزمایشات تیلور و همکاران (۱۹۶۶) شاخص مخروط برابر با دو مگاپاسکال به عنوان حد بهینه فشردگی خاک جهت رشد و نفوذ ریشه گیاهان تعیین گردید. وقتی شاخص مخروط خاک از دو مگا پاسکال

مکاتبه کننده: احمد طباطبائی‌فر
e-mail: atabfar@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

بیشتر گردد میزان عملکرد محصول و رشد ریشه گیاه کاهش می یابد و با انجام عملیات زیرشکنی می توان فشردگی خاک را کاهش داد. شکستن لایه های سخت زیرین خاک توسط زیرشکن، موجب اصلاح ساختمان خاک، کاهش آبدوی سطحی و افزایش نفوذ آب و گاز به داخل خاک می شود. بکارگیری زیرشکن دارای مزایا و معایب زیادی بوده و قبل از استفاده از آن بایستی وضعیت لایه های زیرین خاک مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

عوامل مختلفی بر عملکرد زیرشکن ها موثر بوده و حصول بهره وری مطلوب، مستلزم در نظر گرفتن شرایط بهینه کار برای زیرشکن می باشد. درصد رطوبت خاک، سرعت پیشروی، عمق و عرض کار تیغه و نیز زاویه رویه عامل خاک ورز نسبت به محور افق در راستای حرکت (زاویه حمله[1])، از جمله عواملی است که بر عملکرد زیرشکن موثر است. تلاش در جهت کاهش مقاومت کششی زیرشکن ها همواره یکی از اهداف محققین بوده است. مقاومت کششی زیرشکن معمولا متناسب با عمق کار تغییر می کند. در تحقیق انجام شده توسط مک کیز و دزایر (۱۹۸۴) مشاهده گردید که با پهن تر شدن عرض تیغه تخت خاک ورز و افزایش عمق کار در خاک لوم و خاک رسی، سطح مقطع بهم خورده خاک افزایش یافت. همچنین با افزایش زاویه حمله و نسبت عمق به عرض تیغه، مقاومت ویژه و نرم سازی نسبی خاک[2] افزایش یافت. نرم سازی نسبی به اختلاف جرم مخصوص خاک قبل و بعد از عملیات خاک ورزی به جرم مخصوص خاک قبل از عملیات اطلاق می شود.

سرعت پیشروی نیز یکی از عوامل موثر بر افزایش مقاومت کششی زیرشکن ها می باشد. گزارش های متفاوتی از روند تغییرات مقاومت کششی با تغییر سرعت پیشروی ارایه شد. این تغییرات ناشی از شرایط مختلف مزرعه آزمایشی و نوع وسیله خاک ورز بود. آون (۱۹۸۹) افزایش مقاومت کششی ادوات خاک ورز را تابعی درجه دوم از افزایش سرعت پیشروی گزارش کرد؛ اما سامرز و همکاران (۱۹۸۶) رابطه فوق را خطی، آنوالا و واتز (۱۹۹۸) تابع ترکیبی درجه اول و درجه دوم و اسمیت و ویلیفور (۱۹۸۸) این رابطه را معکوس گزارش کردند و در مواردی نیز اثر سرعت در تعیین مقاومت کششی زیرشکن نادیده گرفته شد (۲).

زاویه حمله عامل خاک ورز یکی دیگر از عوامل موثر بر مقاومت کششی ادوات خاک ورز به حساب می آید. تحقیقات نشان داد که هر چه زاویه حمله یا نفوذ تیغه ادوات خاک ورزی بزرگتر باشد نفوذ وسیله به داخل خاک راحت تر صورت گرفته و با افزایش مولفه عمودی نیروی واکنش خاک به تیغه و در نتیجه افزایش نیروی اصطکاک، مقاومت کششی نیز افزایش می یابد. پاین و تانر (۱۹۵۹) طی تحقیقی اثر تغییر زاویه حمله زیرشکن-ال[3] را بر روی مقاومت کششی و سطح بهم خورده خاک مورد بررسی قرار دادند. افزایش زاویه حمله از ۲۰ تا ۶۰ درجه بطور معنی دار موجب افزایش مقاومت کششی گردید اما سطح مقطع بهم خورده خاک تغییر معنی داری نداشت. گادوین و اسپور (۱۹۷۷) زاویه حمله ۲۵ درجه را زاویه بهینه تیغه زیرشکن-ال در بالا آوردن توده خاک با حداقل فشردگی معرفی نمودند. با افزایش زاویه حمله به بیش از ۷۰ درجه، حرکت رو به بالای خاک کمتر و حرکت جانبی آن زیادتر شد، که در نتیجه فشردگی خاک در طرفین تیغه افزایش یافت. بطور کلی کاهش زاویه حمله موجب کاهش مقاومت کششی شد. مک کیز و ماسوار (۱۹۹۷) پارامترهای موثر در طراحی تیغه های تخت خاک ورز را به منظور بالا بردن راندمان نرم سازی خاک های رسی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مقاومت کششی با افزایش پهنا، عمق و زاویه حمله تیغه زیاد شد. سطح بهم خورده خاک تحت تاثیر زاویه حمله قرار نگرفت و در عین حال نرم سازی خاک در زاویه حمله ۶۰ درجه کمتر از زاویه حمله ۳۰ و ۹۰ درجه بود و با افزایش نسبت عمق به عرض کار تیغه، نرم سازی خاک افزایش یافت. در این تحقیق زاویه حمله ۳۰ درجه و نسبت عمق به عرض کار مساوی دو، بهترین شرایط برای حصول مقاومت کششی کمتر و افزایش راندمان نرم سازی خاک گزارش گردید.

1. Rake angle
2. Relative loosening
3. Conventional subsoiler

Archive of SID

www.SID.ir

بطور کلی زیرشکن هـای-ال بـا ساق عمودی، نوک گوه ای و کفشک[1] و کار کردن در اعماق پایین خاک، بـه نیروی کششی بالایی نیاز دارند و از آنجایی که تراکتورهای پـرقدرت در اختیار کلیه زارعین نیست، کاربرد این ادوات محدود می باشـد. در این راستا، کـاهش مقاومت کششی زیرشکن همواره مورد توجـه محققین بـوده است. گاوآهن نیمه عمیق کج ساق و پـارا[2] از جمله ادوات جدیدی هستند کـه بدین منظور طراحی و ساختـه شدند. گاوآهن پـارا، متشکل از یک سـاق و تیغـه مورب می بـاشـد کـه در انواع تجاری، ضمایمی از قبیل کفشک و نوک گوه ای نیز به انتهای تیغه متصل می گردد. هاریسون (۱۹۸۸) با حذف نوک گوه ای و کفشک گاوآهن پـارا، آن را گاوآهن کج ساق نامید. گاوآهن کج ساق از نظر ساختمان اصلی و نحوه کار مشابه گاوآهن پـارا بود و در عین حال به دلیل نداشتن نـوک گوه ای و کفشک، مقاومت کششی کمتری داشت. با پیش بینی شیب جانبی تیغه (زاویه حمله)، نوک گوه ای که عامل مهمی در افزایش مقاومت خاک بود حذف شد و نفوذ وسیله در خاک براحتی امکان پذیر شد. زاویه حمله را می توان از طریق چرخش ساق حول محور افقی، عمود بر مسیر پیشـروی تغییر داد. گاوآهن کج سـاق عملیـات شخم را نسبت به گاوآهن پـارا، بـا بـازده انـرژی بالاتری انجـام داد و بـه کمک تیغه برش خود کـه به طور مایل قرار داشت، فشار را متمرکـز کرده و بدلیل نداشتن نـوک گوه ای از فشردگی مجدد خاک نیز جلوگیری می کند.

هاریسون و لیسکو (۱۹۸۹) طی تحقیقی اثر زاویه حمله را در دو سطح صفر و ۱۵ درجه بر برآیند نیروهای واکنش خاک گاوآهن کج ساق در مقیاس یک دوم با زاویه خمش[3] ۳۰ و ۴۵ درجه، بطور جداگانه اندازه گیری و مورد مقایسه قرار دادند. آنها گزارش کردند که در زاویه حمله صفر درجه، اصطکاک بوجود آمده در دو سطح فوقانی و زیرین تیغه موجب افزایش نیروهای وارد بر تیغه گردید. آنان کمتر بودن برآیند نیروهای واکنش خاک گاوآهن کج ساق با زاویه خمش ۳۰ درجه و زاویه حمله بزرگتر از صفر درجه را بعلت وجود پدیده تشدید نوسان[4] در تیغه دانستند. آنها همچنین نشان دادند که میزان افزایش برآیند نیروهای واکنش خاک، بیشتر از افزایش عمق کار بود و در زاویه حملـه ۱۵ درجه نفوذ گاوآهن به داخل خاک بهتر و در زاویه حمله صفر درجه نفوذ آن کمتر است. سوهن (۱۹۵۶) اظهار کرد که حدود ۶۰ درصد مقاومت موجود در برابر حرکت تیغه خاک ورز، به علت اصطکاک بین خاک و تیغه و اصطکاک داخلی خاک است. بنابراین در زاویه حمله صفر درجه سطح تماس خاک و تیغه افزایش یافته و مقاومت کششی بدلیل نیروی اصطکاک زیاد می شود.

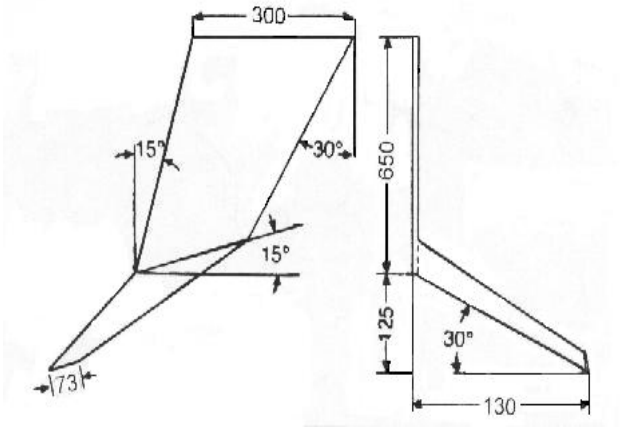
مجیدی و رئوفت (۱۹۹۷) با ساخت یک دستگاه گاوآهن کج ساق منفرد با زاویه خمش ۳۰ درجه، به بررسی اثر تغییر عمق کار و زاویه حمله بر مقاومت کششی و خصوصیات فیزیکی خاک در مقایسه با گاوآهن برگرداندار پرداختند. نتایج نشان داد که عمق و زاویه حمله تاثیر معنی داری بر مقاومت کششی داشت و با افزایش هر کدام مقاومت کششی نیز افزایش یافت. مقاومت کششی گاوآهن کج سـاق در عمق ۲۵۰ میلی متر نصف گاوآهن برگرداندار بود. سطح مقطع بهم خورده خاک در زاویه حمله ۱۵ درجه حداکثر و در هنگام کار با زاویه حمله ۷٫۵ درجه، مقاومت کششی حداقل بود. دورایرج و بالاسبرامانیان (۱۹۹۷) واکنش خاک بر روی سـه مدل گاوآهن کج ساق را در دو نوع خاک با سرعت های پیشروی متفاوت مورد مطالعـه قـرار دادنـد. نتایج آنها نشان داد که گاوآهن کج سـاق در زاویـه حملـه ۹ و ۱۵ درجه، حداقل مقاومت کششی و نیز حداکثر نفوذ را به داخل خاک داشت. حداکثر شکست خاک در کمترین زاویه خمش و بیشترین زاویه حمله بدست آمد که منجر به افزایش مقاومت کششی شد. نتایج تحقیقات نشان داد که با توجه به خصوصیات خاص گاوآهن کج ساق و عدم وجود نوک گوه ای و کفشک در ساختمان آن، این گاوآهن مقاومت کششی کمتری نسبت به سایر ادوات خاک ورزی عمیق دارد. لذا در تحقیق حاضر تاثیر عمق و زاویه حمله در جهت کاهش مقاومت کششی مورد بررسی قرار گرفت.

1. Chisel point and Land side
2. Bentleg and Para plow
3. Tilt angle
4. Resonant oscillation

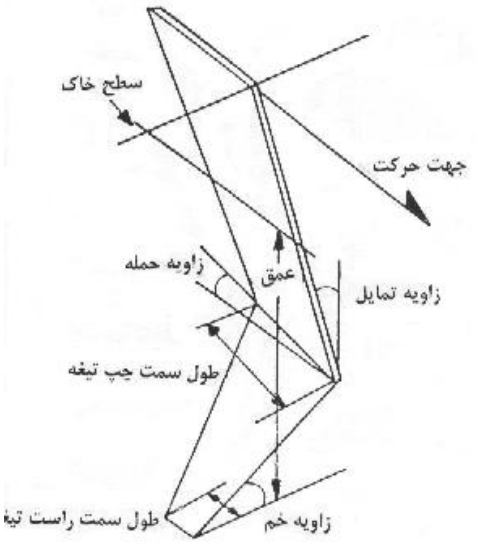
Archive of SID
www.SID.ir

مواد و روش‌ها

در این تحقیق عملکرد زیرشکن تیغه مورب در قالب کرت های خرد شده با سه تکرار در مزارع تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی فارس، زرقـان مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. عمق به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ میلی متر و زاویه حمله در چهار سطح ۷٫۵، ۱۵، ۲۲٫۵ و۳۰ درجه به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. خاک مزرعـه آزمایشی لوم رسی با ۳۳٫۶ درصد رس ۴۱ درصد سیلت و ۲۵٫۴ درصد شن و رطوبت آن در محدوده تیغه زیرشکن ۹ تا ۱۲ درصد بر اساس جرم خشک بود. زیرشکن تیغـه مورب بصورت تک شاخه بـا مشخصات گاوآهن کج‌ساق از نوع منفرد بـا طول تیغه ۱۳ سانتی متر، زاویـه تیغـه ۳۰ درجه نسبت بـه افق با حداکثر عمق کار ۵۰ سانتی متر بکار گرفتـه شد (شکل های ۱و ۲). عرض تیغه با در نظر گرفتن نسبت بهینه عمق به عرض کار در تیغه های باریک انتخاب شد. مقـاومت کششی، سطح مقطع بهم خورده خاک و شاخص مخروط خاک متغیرهـای اندازه گیری بـود. عرض هر کـرت آزمـایشی چهار متر، حداقل طول آن ۵۰ متر و سرعت پیشروی تراکتور با توجه به ناهمواری سطح مزرعه، در محدوده ۳٫۵ کیلومتر بر ساعت در تمام طول آزمایش ثابت در نظر گرفته شـد. با تغییر موقعیت چرخ متصل به شاسی زیرشکن و تعویض محل پین اتصال آن، عمق کار و با چرخش ساق زیرشکن حول محورعمود بر ساق، زاویه حمله تغییر داده شد.



شکل ۱-زیرشکن تیغه مورب (ابعاد به میلی متر)



شکل ۲-زوایای مختلف زیرشکن تیغه مورب

روش تعیین مقاومت کششی

اندازه گیری مقاومت کششی زیرشکن های سوار معمولا با نیروسنج اتصال سه نقطه‌ای[1] انجام می گیرد. اما بعلت عدم وجود این نیروسنج در ایران، از یک نیروسنج الکترونیکی مالبندی[2] مجهز بـه یک کرنش سنج فشـاری[3] استفاده گردید. به عبارت دیگر مقاومت کششـی زیرشکن مطـابق روش آزمون ارایـه شده بوسیلـه یک نیروسنج مالبندی متصل در حد فاصل دو تراکتور اندازه گیری شد (۲۱). نیروسنج بر بازوهای اتصال تراکتور کشنده (تراکتور جلویی) سوار شد و قلاب دیگر آن توسط سیم بکسل به جلوی تراکتور حامل زیرشکن (تراکتور عقبی) متصل گردید. با تنظیم موقعیت بازوهای اتصال تراکتور کشنده، سیم بکسل حد واسط دو تراکتور، موازی با سطح زمین قرار گرفت. با حرکت تراکتور کشنده، مجموع مقاومت کششی زیرشکن و مقاومت غلتشی تراکتور حامل، در حافظه نیروسنج ثبت گردید. به منظور تعیین مقاومت غلتشی تراکتور حامل زیرشکن، زیرشکن را از خاک بیرون آورده و در حالت بی بـاری،

1. Three-point hitch dynamometer
2. Digital drawbar dynamometer
3 . Strain gage C$_l$B-5B

Archive of SID

www.SID.ir

مقاومت کششی آن به عنوان مقاومت کششی تراکتور اندازه گیری و از مقاومت کششی کـل در مرحله قبل کسر گردید تا مقاومت کششی زیرشکن بدست آید. تراکتور حامل ساخت شرکت تراکتورسازی ایران با قدرت ۷۵ اسب بخار و تراکتور کشنده، کیس[1] با قدرت ۱۵۰ اسب بخار انتخاب شـد. تراکتور حامل در تمام طول آزمایش در حالت خلاص قرار داشت. نیروسنج مالبندی استفاده شده در این تحقیق، یک نیروسنج فشاری[2] ساخت کشور ژاپن[3] بود که به نیروسنج کششی تبدیل شده و قادر بـه انـدازه گیری مقـاومت کششی ادوات بود. نیروسنج با حداکثر ظرفیت ۵۰ کیلو نیوتن بر روی یک شاسی مجهز به سه نقطه اتصال، سوار شد و قابلیت نصب بر بازوهای هیدرولیک تراکتور را داشت. نیروی اندازه گیری شده از طریق کابل رابط به یک دستگاه ثبات[4] (کـرنش سنج دیجیتالی) با سرعت نمونه برداری ۰/۹ ثانیه منتقل می گردید و مقادیر اندازه گیری نیرو بر روی صفحه نمایش بر حسب کیلوگرم نیرو نمایش داده می شد.

سطح مقطع بهم خورده خاك و محاسبه مقاومت ویژه

عرض مقطع بهم خورده خاک، معیـار مناسبی در تعیین فاصله بهینه دو تیغه متوالی روی یک شاسی می باشد. بدین ترتیب از هم پوشانی زیاد دو تیغه مجاور جلوگیری شده و در مصرف انرژی صرفه جویی می گردد. چنانچه افزایش مقاومت کششی صرف خـرد کردن حجم بیشتری از خاک شده باشد، پارامتر مقاومت ویژه متغیر مناسبی برای مقایسـه دو زیرشکن می باشد. از آنجایی که شکست لایه های زیرین خاک توسط زیرشکن، در سطح خاک بوضوح مشخص نیست، در هر کرت اقدام به حفر پروفیل عرضی با کمک بیل مکانیکی گردیـد. عمق پروفیل عرضی حدود ۲۰ سانتی متر بیشتر از عمق کار زیرشکن در نظر گرفته شـد. جهت ترسیم مقطع عرضـی برش خـاک از یک خط کش چوبی بلند استفـاده شـد؛ بطوری کـه ابتدا و انتهـای خط کش بر روی زمین دست نخـورده بصورت تراز قرار گرفتـه و به فاصلـه متوالی پنج سانتی متر عمق خـاک برش یافتـه با متر دستی تا خط کش اندازه گیری و یادداشت گردیـد. قسمت هـایی از خاک که دچار شکست شده بود سست تر بوده و به کمک بیلچه نسبت به زمین سست نشـده قابل تفکیک بود. مساحت مقطع ترسیمی بـا جمع مساحت ذوزنقـه های تشکیل شـده تعیین گردیـد. با تقسیم مقاومت کششی اندازه گیری شده در هر کرت بر سطح مقطع بهم خورده خاک در همان کرت، مقاومت ویـژه محاسبه شد.

تعیین شاخص مخروط خاك

شاخص مخروط خاک میزان مقاومتی است که خاک در مقابل نفوذ یک جسم مخروطی، با ابعاد استاندارد از خود نشان می دهد و معیاری برای سنجش فشردگی عمـودی خاک می باشد. این شاخص را می توان در اعماق مختلف خاک، قبل و بعد از عملیات زیرشکنی در محدوده رطوبت ظرفیت مزرعه ای (۱) به عنوان مشخصه ای از میزان فشردگی خاک در نظر گرفت (۲۵). به منظور بررسی چگونگی تغییرات این شاخص در تیمارهای مختلف، بوسیله دستگاه فروسنج[5] در هر کرت ۱۰ نفوذ در محل عبور تیغه زیرشکن تا عمق ۵۰ سانتی متر صورت پذیرفت. بعد از عملیات زیرشکنی نیز، کلیه کرت های آزمایشی مجددا آبیاری شده و پس از رسیدن رطوبت آن به حـد ۱۷ تا ۲۰ درصد بر اساس وزن خشک، مشابه فروسنجی قبل از عملیات، در شرایط واقعی رشـد گیاه شاخص مخروط خاک اندازه گیری گردید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مقادیر مقاومت کششی زیرشکن تیغه مورب در سطوح مختلف عمق و زاویه حملـه نشان داد که عمق کار و زاویه حمله در سطح یک درصد تاثیر معنی داری بر مقاومت کششی داشت ضمن اینکه برهمکنش این دو پارامتر در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۱). مقایسـه میانگین های مقاومت کششی در سطوح مختلف عمق کار و زاویه حمله حاکی از افزایش مقاومت کششی با افزایش عمق کار و زاویه حمله می

1. Case 5105
2. Load cell, Model CLP-5B
3. Tokyo Sokki Kenkyujo Co, Ltd
4. The handy digital strainmeter TC-21K-232
5. Bush soil penetrometer, model SP1000

Archive of SID
www.SID.ir

باشد (جدول۲). افزایش زاویه حمله، موجب اعمال تنش عمودی بیشتری به خاک شـده و منجر به افزایش مقاومت برشی و گسیختگی لایه های خاک بر روی هم می گردد و در نتیجه مقاومت کششی افزایش یافت. مورد فوق در تحقیق مجیدی و رئوفت (۱۱) و هـاریسون (۱۰) نیز گزارش شد. افزایش مقاومت کششی با افزایش عمق خاک ورزی (تا بالای عمق بحرانی) را می توان ناشی از افزایش وزن و جرم مخصوص خاک دانست که منجر به افزایش نیروی اصطکاک بین خاک و تیغه و نیروی بیشتر برای بالا آوردن توده خاک می باشد (۶). تحقیقات سایر محققین نشان داد که مقاومت کششی، تابعی درجه دوم از عمق و نیز ترکیبی از پهنای تیغـه و عمق کار می باشـد (۱۶). این احتمال نیز وجود دارد که با افزایش عمق کار، نیروی عمودی واکنش خاک بزرگتر شده و موجب فشردگی مجدد لایه های فوقانی گردیده و در نتیجه مقاومت کششی افزایش یافته باشد (۱۴). از آنجایی که تغییر زاویه حمله در زیرشکن تیغه مورب با چرخش ساق حول محور عمود بر ساق صورت گرفت، زاویه ساق نیز نسبت به خط عمود تغییر کرد. به عبارت دیگر تمایل رو به عقب ساق زیرشکن موجب اعمال فشـار بیشتری بـه خاک شده کـه در نتیجه مقاومت کششی افزایش می یابـد.

جدول ۱-مقادیر F در تجزیه واریانس متغیرهای مختلف زیرشکن تیغه مورب

منابع تغییر	مقاومت کششی	سطح بهم خورده	مقاومت ویژه	شاخص مخروط
تکرار	۰٫۱۰۶ ns	۷٫۰۴*	۰٫۹۷۶ ns	۰٫۴۴۹
عمق خاک ورزی	۲۵۱٫۷ **	۱۰۸٫۵**	۸٫۹۵*	۱٫۷۸ ns
زاویه حمله	۱۰٫۶**	۳٫۵۶*	۱۰٫۷۶**	۰٫۸۸۶ ns
برهمکنش عمق و زاویه حمله	۳٫۱۷*	۴٫۱۳**	۵٫۶۶**	۲٫۶۵۲ ns

* اختلاف معنی دار در سطح ۵ ٪

** اختلاف معنی دار در سطح ۱ ٪

ns عدم وجود اختلاف معنی دار

جدول ۲-مقایسه میانگین در تیمارهای عمق و زاویه حمله زیرشکن تیغه مورب

تیمـار *	مقاومت کششی، (kN)	مقاومت ویژه، (kN/m^2)	سطح مقطع بهم خورده خاک، (m^2)	شاخص مخروط، (kPa) صفر تا ۴۵ سانتی متر
D1 R1	۵٫۱۸ e	۶۳٫۳۰ c	۰٫۰۸۲۱ fg	۱۶۲۹ a
D1 R2	۵٫۶۴ e	۵۵٫۹۷ c	۰٫۱۰۱۳ e	۱۴۱۶ abc
D1 R3	۸٫۲۵ d	۹۴٫۹۳ b	۰٫۰۸۷۹ efg	۱۵۱۱ abc
D1 R4	۷٫۸۵ d	۱۰۵٫۱ ab	۰٫۰۷۴۷ g	۱۶۰۱ ab
D2 R1	۹٫۷۲ c	۹۸٫۴۸ b	۰٫۰۹۹۲ ef	۱۳۸۰ abc
D2 R2	۱۰٫۵۴ c	۹۹٫۶۲ b	۰٫۱۰۶۲ de	۱۵۴۳ ab
D2 R3	۱۰٫۸۶ bc	۱۰۶٫۱ ab	۰٫۱۰۵۴ de	۱۳۷۴ abc
D2 R4	۱۲٫۱۵ b	۹۷٫۰۷ b	۰٫۱۲۵۵ bc	۱۲۷۵ c
D3 R1	۱۳٫۶۷ a	۹۷٫۹۶ b	۰٫۱۴۰۵ ab	۱۳۴۰ bc
D3 R2	۱۴٫۷۲ a	۹۹٫۹۴ b	۰٫۱۴۶۱ a	۱۴۱۲ abc
D3 R3	۱۴٫۱۵ a	۱۱۸٫۶ a	۰٫۱۲۰۱ cd	۱۲۵۱ c
D3 R4	۱۴٫۲۸ a	۹۹٫۶۹ b	۰٫۱۴۳۴ ab	۱۵۴۹ ab

*میانگین هر ستون که دارای حروف مشابه اند اختلاف معنی دار ندارند (دانکن ۵٪).

R1 زاویه حملـه ۷٫۵ درجه

R2 زاویه حملـه ۱۵ درجه

R3 زاویه حمله ۲۲٫۵ درجه

R4 زاویه حملـه ۳۰ درجه

D1 عمق ۲۵ سانتی متر

D2 عمق ۳۵ سانتی متر

D3 عمق ۴۵ سانتی متر

Archive of SID

www.SID.ir

تجزیه واریانس مقادیر سطح مقطع بهم خورده خاک، نشان داد که عمق زیرشکنی در سطح یک درصد و زاویه حمله در سطح پنج درصد تاثیر معنی داری بر سطح مقطع بهم خورده خاک داشته است. هر چه عمق خاک ورزی تا عمق بحرانی پایین تر رود، بالا آمدن لایه های خاک بیشتر خواهد بود (۱۲). سرعت پیشروی نیز اثری بر مقدار سطح بهم خورده خاک ندارد (۱۶). انتظار می رفت که با افزایش زاویه حمله، حجم بیشتری از خاک جابجا شده و سطح مقطع بهم خورده خاک نیز افزایش یابد؛ اما مورد فوق در این تحقیق مشاهده نگردید. به عبارت دیگر سطح بهم خورده خاک در زاویه حمله ۱۵ درجه بیشتر از ۲۲/۵ درجه بود. معنی دار بودن برهمکنش عمق و زاویه حمله از این نظر مورد توجه است. مک کیز و دزایر (۱۹۸۴) نیز کاهش سطح بهم خورده خاک را با افزایش زاویه حمله، درصد رطوبت خاک و افزایش نسبت عمق به عرض تیغه گزارش کردند. معنی دار بودن اثر تکرار در اندازه گیری سطح مقطع بهم خورده خاک در تیمارهای مختلف، حاکی از خطای زیاد اندازه گیری این شاخص می باشد. استفاده از پروفیل متر در اندازه گیری سطح مقطع بهم خورده خاک می تواند موجب کاهش خطای اندازه گیری گردد. در تحقیق مک کیز و ماسوار (۱۹۹۷) پاین و تانر (۱۹۵۹) و رئوفت و فیروزی (۱۹۹۸) نیز تغییر زاویه حمله اثر معنی داری بر سطح مقطع بهم خورده خاک نداشت. اثر متقابل عمق کار و زاویه حمله گاوآهن کج ساق نیز در تحقیق مجیدی و رئوفت (۱۹۹۷) و رئوفت و فیروزی (۱۹۹۸) معنی دار گزارش شد. تغییرات سطح مقطع بهم خورده خاک در سطوح مختلف عمق کار نیز روند مشابهی را طی نمی نماید و حاکی از معنی دار بودن اثر متقابل عمق کار و زاویه حمله بر سطح بهم خورده خاک است.

در بررسی اثر تغییرات زاویه حمله زیرشکن تیغه مورب، مشاهده گردید که عمق زیرشکنی در سطح پنج درصد و زاویه حمله در سطح یک درصد تاثیر معنی داری بر مقاومت ویژه زیرشکن تیغه مورب داشت. در بیشتر موارد با زیاد شدن عمق و زاویه حمله، مقاومت ویژه افزایش یافت. به عبارت دیگر زیاد شدن سطح بهم خورده خاک با افزایش عمق نسبت مستقیم نداشته و با زیاد شدن نیروی گسیختگی خاک و اصطکاک خاک و تیغه با افزایش عمق و زاویه حمله، مقاومت کششی به نسبت بیشتری افزایش یافته و مقاومت ویژه افزایش یافت (۱۴، ۱۹). معنی دار بودن برهمکنش عمق و زاویه حمله در سطح یک درصد نیز بیانگر این است که تغییرات مقاومت ویژه با افزایش عمق زیرشکنی و یا افزایش زاویه حمله یکسان نمی باشد. افزایش مقاومت ویژه تیغه خاک ورز با افزایش زاویه حمله و افزایش نسبت عمق به عرض تیغه نیز گزارش گردید (۱۳). تجزیه واریانس مقادیر شاخص مخروط خاک، اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف عمق و زاویه حمله زیرشکن تیغه مورب، بعد از عملیات زیرشکنی نشان نداد.

نوع خاک یکی از عوامل موثر بر میزان مقاومت کششی ادوات خاک ورز و چگونگی رفتار گسیختگی آن می باشد. بنابراین با تغییر بافت و ساختمان خاک و نیز تغییرات زیاد در لایه های مختلف خاک (تغییر پذیری فاصله ای)، زیرشکن تیغه مورب گسیختگی های متفاوتی دارد. بنابراین رفتار زیرشکن تیغه مورب در خاک هایی با بافت و ساختمان متفاوت نیز می بایست مورد بررسی قرار گیرد. آزمایشات انجام شده در انباره خاکی با خاک یک دست و یکنواخت تحت شرایط کنترل شده، از این نظر دارای مزیت نسبی بوده و از دقت بالاتری برخوردار است. با توجه به تغییرات سیکلی مقاومت کششی در طول حرکت و کم بودن پاسخ زمانی دستگاه ثبات دیجیتالی بکار گرفته شده در تحقیق حاضر، از مقادیر اندازه گیری شده متوسط گیری بعمل آمد.

نتیجه گیری

بطور کلی افزایش زاویه حمله موجب اعمال تنش عمودی بیشتری به خاک شده و در نتیجه، برش خاک و گسیختگی لایه‌های خاک بر روی یکدیگر انرژی زیادتری لازم داشته و مقاومت کششی را افزایش می دهد. افزایش عمق کار نیز موجب افزایش نیروی اصطکاک بین خاک و تیغه گردیده و بالا آوردن توده خاک نیاز به مقاومت کششی بیشتری داشته و با افزایش حرکت جانبی خاک، مقاومت ویژه نیز افزایش می یابد. از آنجایی که میانگین متغیرها تفاوت معنی داری مابین زاویه حمله ۷/۵ درجه و ۱۵ درجه نشان نداد و نفوذ زیرشکن تیغه مورب در زاویه حمله ۱۵ درجه بهتر بود؛ این زاویه به عنوان زاویه حمله بهینه زیرشکن تیغه مورب معرفی گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

سپاسگزاری

بدینوسیله از جناب آقای دکتر عباس همت بخاطر راهنمایی‌های ارزنده شان و کلیه همکاران مرکز تحقیقات کشاورزی فارس صمیمانه تشکر می گردد. همچنین از شورای پـژوهشهای علمی کشور که هزینـه های مالی اجرای طرح فوق را تامین نمودند تشکر و قدردانی می شود.

مراجع مورد استفاده **REFERENCES**

۱. صلح جو، ع. ا. و م. لغوی. ۱۳۷۹. رطوبت مناسب خاک جهت اندازه گیری شاخص مخروط، توسط دستگاه نفوذسنج مخروطی. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. جلد ۵، شماره ۱۷، صفحه ۴۳-۵۰.

2. ASAE. 1983. Agricultural Engineers Yearbook of Standards. Am. Soc. Agric. Engrs. St. Joseph, MI. 853 pp.
3. Bush soil penetrometer sp1000. Version 1.0. No date. Instruction manual Scotland-Findlay Irvine Ltd. 52 pp.
4. Durairaj, C. D. & M. Balasubramanian. 1997. Influence of tool angles and speed on the soil reactions of a bentleg plough in two soils. Soil and Tillage Research 44: 137-150.
5. Goddard, T. W., D. S. Chanasyk & H. P. Harrison. 1991. A review of agricultural ripping activities in Alberta. Special Report, Farming for the Future, Project No. 88-0404.
6. Godwin, R. J. & G. Spoor. 1977. Soil failure with narrow tines. J. Agric. Engng. Res. 22(3): 213-228.
7. Harrison, H. P. 1988. Soil reacting forces for a bentleg plow. Trans. of the ASAE 31(1): 47-51.
8. Harrison, H. P. & T. J. Licsko. 1989a. Soil reacting wrenches and dynamics for three models of bentleg plows. Trans. of the ASAE 32(1): 50-53.
9. Harrison, H. P. & T. J. Licsko. 1989b. Soil reacting forces for models of three bentleg plows. Soil and Tillage Research 15: 125-135.
10. Harrison, H. P. 1990. Soil reacting forces for two-tapered bentleg plows. Trans. of the ASAE 33(5): 1473-1476.
11. Majidi Iraj, H. & M. H. Raoufat. 1997. Power requirement of a bentleg plow and its effects on soil physical conditions. Iran Agr. Res. 16(1): 1-16.
12. Mckeys, E. & O. T. Ali. 1977. The cutting of soil by narrow blades. J. of Terramech. 14(3): 43-58.
13. Mckeys, E. & P. D. Desire. 1984. Prediction and field measurement of tillage tool draft force and efficiency in cohesive soils. Soil and Tillage Research 4: 459-470.
14. Mckeys, E. & J. Maswaure. 1997. Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of a clay soil. Soil and Tillage Research 43: 195-204.
15. Onwualu, A. P. & K. C. Watts. 1998. Draught and vertical forces obtained from dynamic soil cutting by plane tillage tools. Soil and Tillage Research 48: 239-253.
16. Owen, G. T. 1989. Force-depth relationships in a pedogenetically compacted clay loam soil. Applied Engineering in Agriculture 5(2): 185-191.
17. Payne, P. C. J. & D. W. Tanner. 1959. The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. J. Agric. Engng. Res. (4): 312-325.
18. Raghavan, G. S. V., E. Mckeys & M. Chasse. 1977. Effect of wheel slip on soil compaction. J. Agric. Engng. Res. (22): 79-83.
19. Raoufat, M. H. & S. Firuzi. 1998. Field evaluation of a dual bentleg plow. Iran Agr. Res. 17(1):67-82.
20. Reeder, R. C., R. K. Wood, & C. L. Finck. 1993. Five-subsoiler designs and their effects on soil properties and crop yields. Trans. of the ASAE 36(6): 1525-1531.
21. Regional Network for Agricultural Machinery. 1983. RNAM Test Codes and Procedures for Farm Machinery. Technical series No. 12, Bangkok, Thailand. 129 pp.
22. Smith, L. A. & J. R. Williford. 1988. Power requirements of conventional triplex and parabolic subsoilers. Trans. of the ASAE 31(6): 1685-1688.
23. Soehne, W. 1956. Some basic considerations of soil mechanics as applied to agricultural engineering. Grundlagen der landerchnik. 7: 11-27. (NIAE Translation No. 53).
24. Summers, J. D., A. Khalilian, & D. G. Batchelder. 1986. Draft relationships for primary tillage in Oklahama soils. Trans. of the ASAE 29(1): 37-39.
25. Taylor, H. M. , G. Robertson, & J. Parker Jr. 1966. Soil strength root penetration relation for medium to coarse textured soil materials. Soil Sci. 102: 18-22.

Archive of SID

www.SID.ir