

# مقاومت کششی زیرشکن تیغه ارتعاشی در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش و اثر آن بر خواص فیزیکی خاک

عباس همت ، حمید رضا صادق نژاد و رضاعلیمردانی

به ترتیب دانشیار گروه ماشینهای کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان ، کارشناس مرکز تحقیقات

کشاورزی گرگان و استادیار گروه ماشینهای کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله ۷۸/۷/۷

## خلاصه

زیرشکنها برای سست و لق کردن لایه های متراکم عمقی خاک استفاده می شوند. ولی مقاومت کششی آنها زیاد است. اطلاعات کمی در مورد مقاومت کششی زیرشکنها و اثر آنها بر خواص فیزیکی خاک در ایران وجود دارد. بنابراین، بمنظور اندازه گیری مقاومت کششی زیرشکن تک شاخه تیغه ارتعاشی در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش در یک خاک لوم لای و بررسی اثر آن بر خواص فیزیکی خاک، آزمایشهایی در ایستگاه عراقی محله، مرکز تحقیقات کشاورزی گرگان که در  $23^{\circ} 54'$  طول شرقی و  $36^{\circ} 57'$  عرض شمالی واقع شده، انجام گردید. این تحقیق در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تیمار (زیرشکن زنی در عمقهای  $30^{\circ}$  و  $40^{\circ}$  سانتی متری با زیرشکن در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش) و در چهار تکرار انجام گردید. مقاومت کششی، مقاومت ویژه و توان مالبندی زیرشکن، درصد لغزش چرخهای محرک، سرعت پیشروی و بازده کشش تراکتور، سطح بهم خورده خاک، متوسط وزنی کلوخه ها، مقاومت خاک (شاخص مخروطی)، نفوذ آب به خاک اندازه گیری و محاسبه گردید. ارتعاش بطور معنی داری مقاومت کششی، مقاومت کششی ویژه، مقاومت واحد زیرشکن و لغزش چرخهای محرک تراکتور را کاهش و بازده کشش تراکتور را افزایش داد. ارتعاش تیغه زیرشکن موجب کاهش مقاومت کششی در حدود  $33\%$  گردید. میانگین عمق کار زیرشکن در تمام تیمارها بعلت افزایش زیاد جرم مخصوص ظاهری در عمق خاک،  $35$  سانتی متر بود. مقاومت کششی زیرشکن در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش با عمق کار  $35$  سانتی متر و در رطوبت  $17\%$  وزنی به ترتیب  $9/7$  و  $14/4$  کیلو نیوتن بود. مقاومت واحد به ترتیب  $277$  و  $422$  نیوتن بر سانتی متر بود و مقادیر مقاومت کششی ویژه به ترتیب  $8/2$  و  $12/5$  نیوتن بر سانتی متر مربع بود. تفاوت معنی داری بین مساحت سطح بهم خورده خاک در حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش وجود نداشت و به ترتیب  $1859$  و  $1912$  سانتی متر مربع بود. ولی قطر متوسط وزنی کلوخه ها در حالت ارتعاشی بطور معنی داری کاهش یافت و از  $10/7$  سانتی متر در حالت بدون ارتعاش به  $7/4$  سانتی متر کاهش یافت. زیرشکن زنی بطور معنی داری میانگین مقاومت خاک در لایه  $35 - 0$  سانتی متری را از  $1/7$  به  $1/3$  مگاپاسکال کاهش داد، ولی تفاوت معنی داری بین حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش وجود نداشت. زمان نفوذ و سرعت نفوذ نهایی آب به خاک به ترتیب برای حالت ارتعاشی  $40.5$  دقیقه و  $26$  میلی متر بر ساعت و در وضعیت بدون ارتعاش  $340$  دقیقه و  $49$  میلی متر بر ساعت بود.

واژه های کلیدی: خاک ورزی عمیق، زیرشکن، مقاومت کششی ویژه، توان مالبندی، مقاومت خاک، قطر متوسط وزنی کلوخه، نفوذ آب در خاک.

## مقدمه

میلی متر و متوسط سرعت پیشروی در خاکهای یاد شده به ترتیب ۶/۴، ۶/۸ و ۶/۷ کیلومتر در ساعت بود.

مقاومت کششی زیرشکن معمولاً متناسب با عمق کار تغییر می‌کند (۱ و ۱۳). بررسی ولف و گارنر (۳۸) در مورد انرژی لازم برای خاک ورزی در سه عمق مختلف در خاکهای لوم شنی، حاکی از این است که عمق زیرشکن زنی اثر معنی داری بر مقاومت کششی و انرژی مکانیکی لازم برای خاک ورزی اولیه دارد. در آزمایشهای آنها، وقتی که عمق از ۲۸ سانتی متر به ۴۴ سانتی متر تغییر نمود، مقاومت کششی برای هر شاخه زیرشکن از ۲/۵ به ۶/۲ کیلونیوتن افزایش یافت.

سرعت پیشروی بر مقاومت کششی زیرشکن بطور قابل ملاحظه ای تاثیر می‌گذارد. کپنر و همکاران (۱۳)، مطالعه انجام شده بوسیله مک گین و رید را مورد اثر سرعت پیشروی (۴ تا ۱۴/۵ کیلومتر در ساعت) بر مقاومت زیرشکن را گزارش نمودند و بیان نمودند که مقاومت کششی زیرشکن با مجذور سرعت تغییر می‌کند. آباذیه‌ایا و همکاران (۳۴) نشان دادند که مقاومت کششی زیرشکن با مجذور سرعت پیشروی و متناسب با عمق کار تغییر می‌کند.

اسمیت و ویلفورد (۲۹) اثر شکل زیرشکن را بر توان مصرفی سه نوع زیرشکن بررسی نمودند. آنها گزارش نمودند که مقاومت کششی زیرشکن نوع پارابولیک<sup>۶</sup> کمتر از زیرشکن معمولی<sup>۷</sup> یا تریپلکس<sup>۸</sup> بود. بیشترین نیروی عمودی (پایین سو) و کمترین مقدار لغزش چرخها مربوط به زیرشکن پارابولیک بود.

به زاویه بین رویه عامل خاک ورز<sup>۹</sup> و سطح افق زاویه تمایل<sup>۱۰</sup> اطلاق می‌گردد و زاویه تمایل تیغه و ساقه زیرشکن بر مقاومت کششی و نیروی عمودی پایین سو اثر معنی داری دارد. آزمایشهای انجام شده توسط گادوین و اسپور (۱۰) با عاملهای خاک ورز باریک<sup>۱۱</sup> در سه زاویه تمایل و در سه نوع خاک متراکم و متراکم نشده نشان داد که با کاهش زاویه تمایل، مقاومت کششی به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش یافت. نیکلز و ریوز (۱۶) گزارش نمودند که مقاومت کششی زیرشکن ساقه راست در عمق ۲۶

لایه های غیر قابل نفوذ و یا با نفوذ پذیری کم در خاکهای تحت الارض ممکن است به دلایل متعددی از جمله: رسوبهایی که در خاکهای آبرفتی وجود داشته و بطور طبیعی فشرده شده و لایه های رسوبی را تشکیل داده اند، خاکهای بدون ساختمان که به صورت توده های منفرد و متراکم دیده می شوند، تردد مداوم ماشین ها و ادوات کشاورزی سنگین بر روی خاک در رطوبت نامناسب، استفاده پی در پی از گاواهنهای برگرداندار در عمق یکسان و در رطوبت نامناسب بویژه در خاکهای سنگین و ایجاد سخت لایه ای بنام کفه شخم<sup>۱</sup>، تشکیل گردیده باشند. وجود این نوع لایه ها در خاک می تواند نفوذ پذیری آب در خاک، نفوذ ریشه و تهویه را با مشکلاتی روبرو ساخته و ضرورت بکارگیری ادواتی با عاملهای خاک ورز عمیق را بویژه در کشاورزی دیم<sup>۲</sup> و بدون آبیاری<sup>۳</sup> راروشن می سازد.

برای برطرف کردن معضلات ناشی از فشردگی خاک، یکی از روشهای ممکن، استفاده از چیزل ها و زیرشکنها است. حرکت زیرشکن در عمق موجب می شود که لایه متراکم گسیخته و شرایط فیزیکی خاک بهبود نسبی پیدا کند، اما مقاومت کششی این نوع ادوات زیاد بوده و تراکتور برای تامین نیروی کششی در سطح تماس چرخ با خاک با لغزش زیاد روبرو می شود که موجب کاهش بازده تبدیل انرژی می گردد (۳۵). برای افزایش بازده کشش و در نتیجه کاهش درصد لغزش چرخهای محرک تراکتور، کاربرد زیرشکنهای ارتعاشی پیشنهاد می شود. زیرشکنهای ارتعاشی، قسمتی از انرژی مورد نیاز خود را از محور تواندهی تراکتور اخذ نموده و بدینوسیله مقاومت کششی کاهش می یابد.

مقاومت کششی زیرشکن بستگی به نوع و شرایط خاک، عمق کار، سرعت پیشروی و شکل هندسی زیرشکن دارد. نیکلز و ریوز (۱۶) نشان دادند که مقاومت کششی در خاکهای رسی ۲ تا ۲/۵ برابر مقاومت کششی در خاکهای شنی است. مطالعات انجام شده بوسیله فریس بی و سامرز (۶) نشان داد که میانگین مقاومت کششی یک ریپر<sup>۴</sup> بازا هر شاخه در خاکهای لوم لای<sup>۵</sup>، شنی و رسی به ترتیب ۶/۱، ۸/۷ و ۱۵/۲ کیلونیوتن بود. عمق کار ۴۱۰

1 - Plow pan

2- Dryland farming

3- Rainfed farming

4- Ripper-spider

5 - Silt loam

6- Parabolic

7- Conventional

8- Triplex

9- Tine

10- Rake angle

11- Narrow tine

فرکانسی ۵ هرتر و سرعت پیشروی ۰۵/۲ کیلومتر در ساعت بدست آوردند. ساکای و همکاران (۲۳) یک کاهش ۶۰ درصدی در مقاومت کششی یک زیر شکن چهار شاخه ساقه ارتعاشی در دامنه ۵ سانتی متری و فرکانس ۳/۴ هرتر بدست آوردند. خاک ورزی عمیق سبب تغییر در خواص فیزیکی تا لایه های زیرین خاک سطح الارض می شود. این تغییرات در توزیع خلل و فرج، تخلخل کل، درجه پوکی، جرم مخصوص ظاهری، مقاومت خاک و نفوذ آب در خاک رخ می دهد. جانسون و همکاران (۱۲) گزارش نمودند که زیر شکن زنی موجب بهبود شرایط فیزیکی خاک در زیر لایه عمق شخم در خاک رسی شد. در دانمارک، اسکونینک و راسموسن (۲۶)، قسمتی از کرت های متراکم شده را پس از سه سال زیر شکن زنی نمودند. در خاک های شنی، زیر شکن زنی بطور معنی داری مقاومت خاک (شاخص مخروطی) را در عمق ۳۰۰ تا ۴۵۰ سانتی متری بهبود بخشید. ولی، زیر شکن زنی تغییری در شاخص مخروطی در خاک های لوم شنی ایجاد نمود.

مشکل نفوذ آب به داخل خاک یک مشکل عمومی است که در انواع بافتها، از لوم شنی تا رسی، می تواند وجود داشته باشد. لایه های متراکم یا سخت شده موجب کم شدن نفوذ آب به خاک می شوند. این لایه ها می توانند بطور طبیعی ایجاد شده (سخت لایه<sup>۲</sup>) یا در اثر عملیات زراعی (کفه شخم<sup>۳</sup>) یا بر اثر آبیاری (سله سطحی<sup>۴</sup>) ایجاد شوند (۵). تغییر ناگهانی در بافت لایه های مجاور در نیمرخ خاک نیز می تواند مشکلاتی در نفوذ پذیری آب به خاک ایجاد نماید (۲۴).

تراکم خاک عامل دیگری است که می تواند از نفوذ آب به خاک جلوگیری نماید (۵). خاک ورزی عمیق از طریق افزایش تخلخل خاک می تواند نفوذ پذیری آب به خاک را افزایش دهد (۲۲). استفاده از یک نوع زیر شکن بنام گاو آهن کج - ساق<sup>۵</sup> موجب افزایش معنی داری در نفوذ تجمعی آب به خاک نسبت به گاو آهن برگرداندار شد (۱۴).

هدف از این تحقیق، اندازه گیری مقاومت کششی زیر شکن تک شاخه تیغه ارتعاشی در دو وضعیت ارتعاشی و بدون ارتعاش و بررسی اثر زیر شکن زنی بر خواص فیزیکی خاک بود.

سانیمتری در خاک رسی خیلی فشرده ۱۲/۴ کیلونیوتن بود. مقاومت کششی زیر شکن با ساقه کمی خمیده ۱۶ درصد کمتر از نوع راست، ولی از زیر شکن با بازوی کاملاً قوسی شکل فقط یک درصد بیشتر بود.

نیروی کششی مورد نیاز ادوات خاک ورزی می تواند بطور قابل ملاحظه ای با ارتعاش عضوهای درگیر با خاک آنها کاهش یابد. یکی از علل کاهش مقاومت کششی، تماس کمتر عوامل خاک ورز با خاک بهنگام ارتعاش ادوات می باشد (۲). از طرف دیگر، ارتعاش موجب کاهش مقاومت خاک از طریق کاهش چسبندگی و تنشهای موثر در خاکهای خشک تا ترد<sup>۱</sup> می گردد (۲۳). بنابراین، برای ادوات با مقاومت کششی بالا، مانند زیر شکنها، استفاده از ارتعاش در کاهش مقاومت کششی مطلوب به نظر می رسد.

گان و ترامونتینی (۱۱) نشان دادند که مقاومت کششی گاو آهن چیزل از طریق اعمال ارتعاش کاهش یافت. کاهش مقاومت کششی در سرتهای ارتعاشی کمتر از سرعت پیشروی تراکتور کم بود. با افزایش سرعت ارتعاش نسبت به سرعت پیشروی، کاهش در مقاومت کششی قابل توجه بود. اگر چه ارتعاش موجب کاهش معنی دار مقاومت کششی شد، ولی کاهش زیادی در توان کل مورد نیاز ایجاد نشد. آزمایشهای انجام شده بر روی مدل های آزمایشگاهی تیغه بولدوزر، گاو آهن برگرداندار و چیزل نشان داد که اگر ارتعاش در جهت حرکت تراکتور (جهت طولی) اعمال شود، موجب کاهش مقاومت کششی در حدود ۷۱ تا ۹۳ درصد می گردد (۳۳).

سوهن (۳۰) فرآیند بریدن، خرد شدن، شتاب یافتن و بالا بری خاک توسط یک تیغه صلب مورب را مطالعه نمود و نتیجه گرفت که حدود ۶۰ درصد مقاومت موجود در برابر حرکت تیغه در خاک به علت اصطکاک بین خاک و تیغه و اصطکاک داخلی خاک است. آگن مولر (۴) گزارش نمود که اگر نیروی اصطکاک به نصف تقلیل یابد، یک کاهش ۳۰ درصدی در مقاومت کششی بدست می آید. نارایانارو و ورما (۱۵) یک کاهش ۵۲ درصدی در مقاومت کششی یک زیر شکن ساقه ارتعاشی در دامنه ۴ سانتی متری و

1 - Brittle soil

2- Cemented pan

3- Plow pan

4 - Surface crust

5 - Paraplow

## مواد و روشها

مقاومت کششی یک زیرشکن تیغه ارتعاشی در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش در ایستگاه محله عراقی، مرکز تحقیقات کشاورزی گرگان واقع در ۶ کیلومتری شمال غربی گرگان که در ۵۴،۲۳ طول شرقی و ۳۶،۵۷ عرض شمالی واقع گردیده. اندازه گیری شد. بافت خاک مزرعه در لایه ۰-۳۰ سانتی متری لوم لای (۲۰٪ شن، ۵۶٪ لای و ۲۴٪ رس) و در لایه ۶۰-۳۰ سانتیمتری لو لای (۲۸٪ شن، ۵۲٪ لای و ۲۰٪ رس) می باشد. مشخصه های فیزیکی و مکانیکی خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با چهار تیمار و چهار تکرار به مرحله اجرا درآمد. تیمارهای طرح عبارت بودند از زیرشکن زنی با زیرشکن در وضعیت های ارتعاشی و بدون ارتعاش در عمق های ۳۰ و ۴۰ سانتی متری. آزمایشها در کشتهایی به طول ۱۰۰ متر انجام گردید. مقاومت کششی زیرشکن، سرعت پیشروی تراکتور، درصد لغزش چرخهای محرک تراکتور کشنده، مساحت سطح بهم خورده خاک و عمق زیرشکن زنی اندازه گیری و مقادیر مقاومت کششی بازا هر واحد عمق کار (مقاومت واحد)، مقاومت کششی ویژه، توان مالبندی مورد نیاز زیرشکن و بازده کشش تراکتور محاسبه گردید. مقاومت خاک (شاخص مخروطی) قبل و بعد از زیرشکن زنی، قطر متوسط وزنی کلوخه ها، معادله های سرعت نفوذ لحظه ای و تجمعی، زمان و سرعت نفوذ نهایی خاک قبل و بعد از زیرشکن زنی اندازه گیری و تعیین شدند.

### مشخصات زیرشکن

زیرشکن مورد استفاده در این تحقیق، یک زیرشکن تک شاخه تیغه ارتعاشی<sup>۱</sup> بود (شکل ۱). حرکت از طریق محور تواندهی تراکتور به وسیله یک رابط (چهار شاخ کاردان<sup>۲</sup>) به جعبه دنده زیرشکن و بعد از کاهش و تغییر جهت به یک چرخ لنگر منتقل می شود. سپس حرکت دورانی چرخ لنگر بوسیله یک اتصال خارج از مرکز و یک رابط صلب عمودی به حرکت عمودی (بالا و پایین) تبدیل گشته و به تیغه منتقل می شود. تیغه حول محوری که در جلو پا نصب شده، حرکت ارتعاشی می نماید. پهنای تیغه ۱۴ سانتی متر و

دامنه حرکت تیغه در جلو ۴ و در انتها ۸ سانتی متر است. زاویه تمایل تیغه بین ۳۰ تا ۴۲/۵ درجه تغییر می کند. در سرعت ۵۴۰ دور در دقیقه محور تواندهی، فرکانس ارتعاش تیغه ۶/۷ هرتس است.

### ۱- اندازه گیری پارامترهای عملکردی

#### ۱-۱ مقاومت کششی

اندازه گیری مقاومت کششی زیرشکنهای سوار معمولاً با دستگاه دینامومتر اتصال سه نقطه ای<sup>۳</sup> انجام می گیرد، اما بعلاوه عدم وجود این دینامومتر در ایران، یک نیرو سنج مالبندی<sup>۴</sup> با استفاده از یک لودسل<sup>۵</sup> فشاری طراحی و ساخته شد. برای اندازه گیری مقاومت کششی از یک لودسل فشاری از نوع کرنشی<sup>۶</sup> با ظرفیت ۵۰ کیلونیوتن ساخت کشور ژاپن<sup>۷</sup> استفاده گردید. نیروی اندازه گیری شده از طریق کابل رابط به یکدستگاه ثبات دیجیتالی<sup>۸</sup> با سرعت نمونه برداری<sup>۹</sup> ۹۰/ثانیه منتقل می گردد. مقادیر اندازه گیری شده بر روی صفحه نمایش و در حافظه دستگاه با فشار یک دکمه ثبت می گردند. از آنجائیکه دستگاه ثبات، مقدار کرنش<sup>۱۰</sup> را اندازه گیری می کند، بنابراین باید ضریب تبدیلی<sup>۱۱</sup> تعریف شود. برای این منظور از دستگاه تست اینستران<sup>۱۲</sup> برای تهیه منحنی کالیبراسیون و تعیین ضریب تبدیل استفاده شد.

در ابتدا وسیله خاک ورز را به اتصال سه نقطه تراکتور حامل متصل نموده و در حالیکه این تراکتور توسط تراکتور کشنده در مزرعه کشیده می شود، بکمک دینامومتر متصل بین دو تراکتور مقاومت کششی وسیله اندازه گیری می شود. این آزمایش یک بار در حالتی که وسیله در خاک کار می کند (حالت بار) و یک بار در حالتی که وسیله در بالای سطح خاک قرار دارد (حالت بدون بار) اجرا گردید (شکل ۲). اختلاف اعداد در دو حالت بار و بدون بار نمایانگر مقاومت کششی وسیله است (۲۱). میانگین مقاومت کششی در حالت بدون بار بعنوان مقاومت غلشی تراکتور استفاده شد (۳۲). در ابتدا زیرشکن را به اتصال سه نقطه تراکتور مسی فرگوسن مدل MF 399 متصل و تراکتور را روشن و در حالت خلاص قرار داده شد و در صورت استفاده از ارتعاش، محور تواندهی بکار انداخته می شد. سپس با نصب دینامومتر در جلو تراکتور حامل و

1 - Single shank vibrating - share subsoiler 2- Cardan type universal joint 3- Three-point hitch dynamometer

4 - Drwbar dynamometer 5- Load cell 6- Strain gage based transducer CLB-5B 7- Tokyo Sokki kenkyujo Co,Ltd

8-The handy digital strain meter TC-21k 9-Sampling speed 10-Strain 11-Conversion coefficient 12-Instron testing machine

جدول ۱ - بعضی از خواص فیزیکی و مشخصه های مکانیکی خاک محل آزمایش ایستگاه تحقیقاتی محله عراقی در گرگان

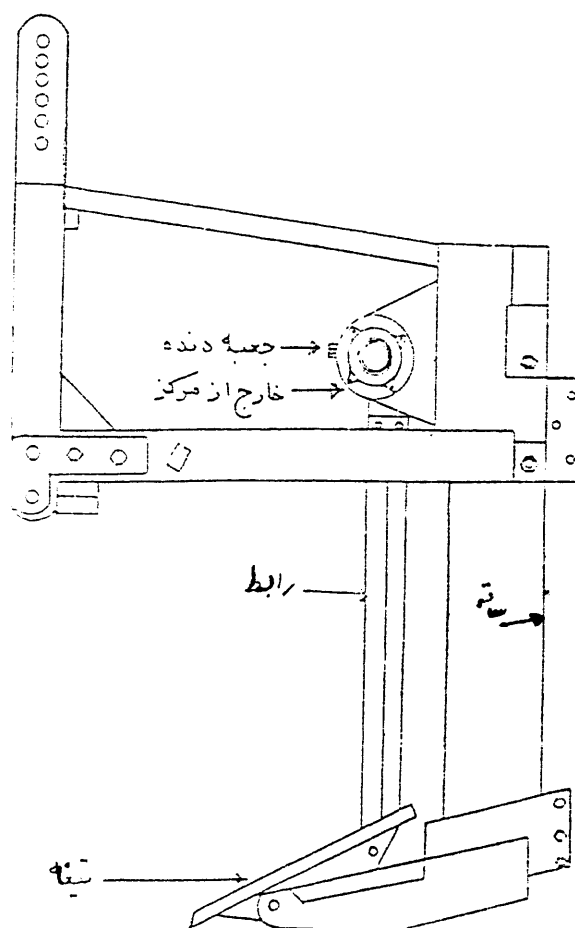
عمق خاک (cm)	جرم مخصوص ظاهری ( $g\ cm^{-3}$ )	درصد رطوبت در حد خمیری	درصد رطوبت در حد روانی	شاخص خمیری
۰ - ۱۵	۱/۳۹	۲۱/۱	۳۸/۷	۱۷/۶
۱۵ - ۳۰	۱/۳۸	۱۷/۲	۳۲/۳	۱۵/۱
۳۰ - ۴۵	۱/۶۰	+	+	+

+ اندازه گیری نشد.

توجه: درصد مواد آلی خاک، و درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک در لایه ۰ - ۳۰ سانتی متری به ترتیب ۱/۷، ۳۲/۲ و ۱۶ بود.

استفاده از زنجیر، مجموعه تراکتور و زیرشکن با یک دستگاه تراکتور جاندر مدل JD 3140 که در دنده ۲ سنگین قرار داشت با سرعت یکنواختی کشیده شد. دور موتور تراکتور کشنده در وضعیت بدون بار روی ۲۰۵۰ دور در دقیقه تنظیم شد. اهرم سیستم هیدرولیک تراکتور حامل در وضعیت کنترل موقعیت<sup>۱</sup> قرار داده شد. ۱ - ۲ سطح خاک بهم خورده<sup>۲</sup>

برای اندازه گیری مساحت نیمرخ از خاک که در اثر عبور زیرشکن سست و بهم خورده است از نیمرخ سنج<sup>۳</sup> استفاده شد. نیمرخ سنج مورد استفاده در این آزمایش یک قطعه چوب به ابعاد ۴ x ۷ x ۱۲ سانتی متر بود که در فواصل ۳ سانتی متر در طول آن میله های مدرج آلومینیمی به قطر ۱۲ میلی متر و به ارتفاع ۸۰ سانتی متر قرار داشت. میله ها در جهت عمودی قابلیت جابجایی داشته توسط پیچ و مهره ثابت می شدند. بعد از زیرشکن زنی، گودالی عمیق تر از عمق خاک سست شده در عرض خاک سست شده در اثر یکبار عبور زیرشکن حفر گردید. سپس مرز بین خاک سست شده و سست نشده با جدا سازی خاکهای سست شده از خاک سفت با دست مشخص شد. سپس با استقرار نیمرخ سنج بر روی حفره ایجاد شده، میله ها شکل نیمرخ را به خود گرفته و با ثابت کردن آنها، نیمرخ خاک بهم خورده مشخص شد. با قرائت اعداد روی میله ها نسبت به سطح خاک بهم نخورده کناری و انتقال آنها بر روی کاغذ میلی متری، مساحت آن محاسبه شد. در هر کرت، مساحت سطح بهم خورده در سه نقطه در طول عبور زیرشکن تعیین گردید. عمق کار زیرشکن نیز از روی نیمرخ خاک بهم خورده تعیین گردید. عمق کار زیرشکن



شکل ۱ - قطعات ساختاری زیر شکن تک شاخه تیغه ارتعاشی

$d_f$  = مسافت پیموده شده در حالت بدون بار (زیر شکن از خاک خارج شده) ،  $m$ .

$d_w$  = مسافت پیموده شده در حالت با بار (زیر شکن در حال کار) ،  $m$ .

۱ - ۶ توان مالبندی

توان مالبندی لازم برای عمل زیر شکن زنی در هر آزمایش از رابطه ۳ محاسبه گردید :

$$DBP = \frac{P \cdot V_a}{3.6} \quad (2)$$

$DBP$  = توان مالبندی ،  $kW$ .

$P$  = مقاومت کششی ،  $kN$ .

$V_a$  = سرعت پیشروی تراکتور ،  $km \ h^{-1}$  ،  
بازده کشش<sup>۲</sup>

برای محاسبه بازده کشش تراکتور ، از رابطه ۴ استفاده گردید:

$$TE = \frac{P}{P + R} (1 - S) \times 100 \quad (4)$$

$TE$  = بازده کشش ، %.

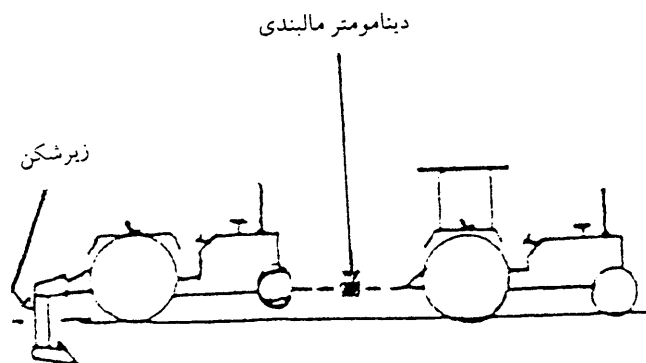
$R$  = مقاومت غلشی چرخها ،  $kN$ .

۲ - اندازه گیری خواص فیزیکی خاک

۲ - ۱ مقاومت خاک

قبل از انجام عملیات زیر شکن زنی ، مقاومت خاک با یک دستگاه فروسنج بوش<sup>۳</sup> مدل SP-1000 (۲) تا عمق ۴۵ سانتی متری اندازه گیری گردید (۳). دستگاه فروسنج در ۱۰ نقطه به فواصل تقریباً مساوی در هر کرت استفاده شد و مقاومت خاک برای هر سانتی متر از عمق خاک بر حسب کیلوگرم در حافظه دستگاه ثبت گردید. سپس با میانگین گرفتن از این اعداد ، نیروی لازم برای نفوذ مخروط در خاک در هر سانتی متر از عمق و برای هر کرت بدست آمد. قطر قاعده مخروط استفاده شده برابر با  $12/83$  میلی متر بود. آزمایش در رطوبت ۱۷% وزنی خشک انجام گرفت. از تقسیم کردن نیرو بر مساحت قاعده مخروط، شاخص مخروطی<sup>۴</sup> بدست آمد. به منظور بررسی اثر زیر شکن زنی بر مقاومت خاک ،

مقاومت به نفوذ خاک پس از انجام عملیات زیر شکن زنی ، در پنج مقطع عرضی از هر عبور زیر شکن با فواصل مساوی از یکدیگر در هر کرت اندازه گیری شد. در هر مقطع انتخاب شده ، ۸ نقطه با



شکل ۲ - اندازه گیری مقاومت کششی زیر شکن سوار از روش دو تراکتور و دینامومتر مالبندی

برابر با بیشترین فاصله خاک بهم خورده تا سطح خاک بهم نخورده کناری بود.

۱ - ۳ مقاومت کششی ویژه<sup>۱</sup>

عبارت از مقاومت کششی در واحد سطح مقطع لایه خاک ورزی شده و معمولاً بر حسب نیوتن بر سانتی متر مربع بیان می گردد:

$$P_s = \frac{P}{A_d}$$

$P_s$  = مقاومت کششی ویژه  $N \ cm^{-2}$

$P$  = مقاومت کششی زیر شکن ،  $N$ .

$A_d$  = مساحت سطح نیمرخ پایینی خاک بهم خورده ،  $cm^2$ .

مقاومت کششی ویژه هر تکرار ، از تقسیم کردن میانگین مقاومت کششی بر میانگین مساحت سطوح بهم خورده اندازه گیری شده در هر کرت تعیین گردید.

۱ - ۴ سرعت پیشروی

سرعت پیشروی تراکتور در حین عمل زیر شکن زنی با اندازه گیری زمان لازم برای پیمودن مسافتی برابر با ۱۰ متر محاسبه گردید. در هر کرت ، سرعت پیشروی در سه نوبت تعیین شد.

۱ - ۵ لغزش چرخهای محرک

مسافت پیموده شده بازاء ده دور چرخ محرک تراکتور کشنده در حالت با بار و بدون بار اندازه گیری و درصد لغزش چرخهای محرک تراکتور کشنده از رابطه ۲ محاسبه شد (۲۱):

$$S = \frac{d_f - d_w}{d_f} \times 100 \quad (2)$$

آب از زیر استوانه ها ، به وسیله یک تخته الوار چوبی ، اطراف استوانه خارجی کوبیده شد . استوانه داخلی برای اندازه گیری قابلیت نفوذ عمودی و استوانه خارجی برای جلوگیری از حرکت افقی و جانبی آب بکار رفت. سپس به طور همزمان در داخل استوانه ها تا ارتفاع ۱۰ سانتی متری از سطح خاک ، آب ریخته و نفوذ آب در خاک در فواصل زمانی یک دقیقه و سپس ده دقیقه اندازه گیری شد . زمان نفوذ بر اساس ۱۰ فاصله یک دقیقه ای ، برای اندازه گیری سرعت نفوذ اولیه ، و ۱۳ فاصله ده دقیقه ای انتخاب گردید . ضمناً نفوذ آب در خاک در چهار نقطه قبل از عملیات زیر شکن زنی نیز در خاک محل آزمایش اندازه گیری شد .

برای تعیین رابطه بین نفوذ تجمعی با زمان از رابطه زیر (معادله کوستیاکف) استفاده شد :

$$D = a t^b \quad (6)$$

D نفوذ تجمعی بر حسب سانتی متر در زمان t و a و b ثابتهای تجربی هستند که بوسیله معادله رگرسیون تعیین شدند . از این معادله نسبت به زمان مشتق گرفته شد و برای بیان سرعت نفوذ لحظه ای استفاده شد .

$$I = ab t^{(b-1)} \quad (7)$$

در این رابطه I سرعت نفوذ لحظه ای بر حسب سانتی متر در دقیقه است . معادله فوق را می توان بصورت زیر نوشت :

$$I = c t^{-f} \quad (8)$$

که در این معادله  $c = ab$  و  $f = (1 - b)$  است .

### نتایج و بحث

تجزیه واریانس عمق کار اندازه گیری شده در تیمارها، نشان داد که از نظر آماری اختلاف معنی داری بین عمق کار بدست آمده در تیمارهای این آزمایش وجود نداشت . میانگین عمق کار در تیمارهای زیر شکن زنی با وضعیت تیغه ارتعاشی در دو عمق ۳۰ و ۴۰ سانتی متر و زیر شکن زنی با وضعیت بدون ارتعاش در دو عمق ۳۰ و ۴۰ سانتی متر به ترتیب ۳۵/۵ ، ۳۵ ، ۳۵/۵ و ۳۵ سانتی متر بود . اگر چه سیستم هیدرولیک تراکتور کشیده شده (تراکتور حامل زیر شکن) روی وضعیت کنترل موقعیت خود کار قرار داده شده بود، ولی احتمالاً بعلت سختی بیش از حد خاک در زیر عمق ۳۰

فاصله های ۱۵ سانتی متری از هم مشخص (چهار نقطه سمت راست و چهار نقطه در سمت چپ محل عبور شاخه زیر شکن) و با فروسنج ، مقاومت به نفوذ مخروط در خاک تا عمق ۴۵ سانتی متری اندازه گیری شد . در هر عمق ، شاخص مخروطی محاسبه و در عرض هر پنج مقطع در هر کرت میانگین گیری انجام گرفت (بنابراین، مقاومت در هر عمق در هر کرت ، میانگین ۴۰ اندازه گیری است (۵ مقطع در هر کرت  $8 \times 8$  نقطه در هر مقطع عرضی) .

### ۲ - ۲ قطر متوسط وزنی کلوخه ها

برای تعیین درجه خردشدگی خاک در اثر عملیات زیر شکن زنی از قطر متوسط وزنی کلوخه ها استفاده گردید . ابعاد کلوخه های خرد شده بر مبنای میانگین وزنی قطر کلوخه های خاک بوسیله یک سری هشت تایی از الکها ارزیابی شد . اندازه هشت الکی که در این تحقیق استفاده شد عبارت بودند از ۱۰۲ ، ۸۹ ، ۷۶ ، ۳۸ ، ۲۵ ، ۱۳ و ۶/۴ میلی متر . سه نمونه خاک از هر کرت به طول ۳۰ سانتی متر از ردیفهای زیر شکن زده شده و به عرض و عمق خاک بهم خورده ، جمع آوری شد و از درون الکها عبور داده شدند . مقدار خاک باقیمانده بر روی هر الک وزن گردید . قطر کلوخه های باقیمانده بر روی بزرگترین اندازه الک از سه بعد اندازه گیری و میانگین گرفته شدند . قطر متوسط وزنی کلوخه ها (M. W. D.) بر حسب میلی متر از رابطه زیر تعیین گردید (۲۱):

$$M. W. D. = \sum X_i W_i \quad (5)$$

در این رابطه  $X_i$  قطر معادل کلوخه های روی هر الک (که برای الک دوم به بعد برابر است با متوسط قطر الک مورد نظر و قطر الک بالایی آن) بر حسب میلی متر و  $W_i$  نسبت وزن کلوخه ها روی هر الک به وزن کل نمونه خاک می باشد.

### ۲ - ۳ نفوذ آب در خاک

برای اندازه گیری نفوذ آب در خاک از روش استوانه مضاعف<sup>۲</sup> استفاده شد . بر روی هر ردیف زیر شکن زده شده در دو محل به فاصله ۵۰ متر از یکدیگر ، استوانه ها به اقطار ۳۰ و ۶۰ سانتی متر و به ارتفاع ۴۰ سانتی متر نصب گردید . استوانه ها در داخل یکدیگر و در یک سطح و باندازه ۱۵ سانتی متر در داخل خاک فرو برده شد و برای جلوگیری از خروج سریع آب به علت فضاهای بزرگ ایجاد شده در مسیر حرکت زیر شکن و نفوذ جانبی

(مقاومت واحد)، مساحت سطح خاک بهم خورده، قطر متوسط وزنی کلوخه ها، مقاومت کششی ویژه و توان مالبندی مورد نیاز زیرشکن در جدول ۲ نشان داده شده است. این جدول نشان می دهد که اثر ارتعاش بر بازده کشش در سطح احتمال ۵٪ و بر لغزش چرخهای محرک، مقاومت کششی، مقاومت واحد، مقاومت کششی ویژه و قطر متوسط وزنی کلوخه ها در سطح ۱٪ معنی دار بوده. ولی بر سایر پارامترها اثر معنی داری نداشته است.

میانگین و خطای استاندارد سرعت پیشروی تراکتور، درصد لغزش چرخهای محرک تراکتور کشنده، بازده کشش و توان مالبندی مورد نیاز برای زیرشکن در وضعیت تیغه ارتعاشی و بدون ارتعاش در جدول ۳ نشان داده شده است. در این جدول مقادیر درصد لغزش نشان داده شده، لغزش لازم برای تولید کشش جهت کشیدن مجموعه تراکتور حامل و زیرشکن بعلاوه به جلو راندن بدنه تراکتور کشنده می باشد. اگر چه مقادیر واقعی در حین زیرشکن زنی نیستند، اما از جهت مقایسه نشان می دهد که اعمال قسمتی از انرژی لازم جهت

سانتی متر (جرم مخصوص خاک در لایه ۳۰ - ۰ سانتی متری ۱/۳۸ گرم بر سانتی متر مکعب و در لایه ۴۵ - ۳۰ سانتی متری به ۱/۶ گرم بر سانتی متر مکعب افزایش یافت) و شاید کافی نبودن نیروی کشش تراکتور کشنده، عمق مورد نظر تامین نشد. پراکت و همکاران (۱۸) نیز نشان دادند که عمق شخم و جرم مخصوص ظاهری رابطه منفی دارند. واتس و دکستر (۳۷) گزارش نمودند که در سالهای تر (پر باران) با افزایش تعداد عبور چرخهای ادوات بر روی سطح خاک، جرم مخصوص ظاهری افزایش و عمق شخم در سال بعد کاهش می یابد.

با توجه به معنی دار نبودن اختلاف بین عمق های اندازه گیری شده در چهار تیمار پیاده شده در این طرح، تجزیه و تحلیل طرح با دو تیمار زیرشکن زنی در حالت ارتعاشی (VMS)<sup>۱</sup> و بدون ارتعاشی (NVMS)<sup>۲</sup> انجام گردید. نتایج آزمون  $\alpha$  برای پارامترهای لغزش چرخهای محرک و سرعت پیشروی تراکتور کشنده، بازده کشش، مقاومت کششی، مقاومت کششی بازاء هر سانتی متر عمق کار

جدول ۲ - مقادیر آزمون  $\alpha$  برای لغزش چرخهای محرک، سرعت پیشروی و بازده کشش تراکتور کشنده، مقاومت کششی، مقاومت واحد، سطح بهم خورده خاک، قطر متوسط وزنی کلوخه، مقاومت کششی ویژه و توان مالبندی برای تیمارهای زیرشکن زنی در وضعیتهای تیغه ارتعاشی و بدون ارتعاش.

منابع تغییر	درجات آزادی	$\alpha$ محاسبه شده
لغزش	۱۱۹	۳/۱۸۹**
سرعت پیشروی	۱۱۹	۲/۱۹۳NS
بازده کشش	۱۱۹	۲/۴۸۸*
مقاومت کششی	۱۴	۸/۸۰۳**
مقاومت واحد	۱۴	۹/۸۲۹**
سطح بهم خورده خاک	۱۴	۰/۰۳NS
قطر متوسط وزنی کلوخه ای	۱۰	۳/۵۲**
مقاومت کششی ویژه	۱۴	۳/۴۶**
توان مالبندی مورد نیاز	۱۴	۱/۳۴۸NS

<sup>۱</sup> اندازه گیری درصد لغزش برای دو تیمار زیرشکن زنی با تیغه ارتعاشی و بدون ارتعاش به ترتیب در ۶ و ۷ تکرار انجام گردید.

<sup>۲</sup> اندازه گیری قطر متوسط وزنی کلوخه برای دو تیمار زیرشکن زنی با تیغه ارتعاشی و بدون ارتعاش، هر کدام در ۶ تکرار انجام گرفت.

\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

NS در سطح احتمال ۵٪ معنی دار نیست.



جدول ۳ - میانگین و خطای استاندارد سرعت پیشروی ، درصد لغزش چرخهای محرک و بازده کشش تراکتور و توان مالبندی مورد نیاز زیرشکن تک شاخه تیغه ارتعاشی در حالتی بدون ارتعاش.

تیمار	سرعت پیشروی (km h <sup>-1</sup> )	لغزش چرخهای محرک (%)	بازده کشش (%)	توان مالبندی (kW)
	X ± S.E. <sup>¶</sup>	X ± S.E. <sup>¶</sup>	X ± S.E. <sup>¶</sup>	X ± S.E. <sup>¶</sup>
بدون ارتعاش	۲/۶ ± ۰/۲۲	۳۴/۴ ± ۵	۵۸/۲ ± ۴/۳	۱۲/۰ ± ۲/۸۵
ارتعاشی	۳/۱ ± ۰/۰۶	۱۶/۸ ± ۲/۴	۷۰/۱ ± ۲/۰	۱۰/۴ ± ۰/۸۳
	۰/۵۰۲ <sup>ns</sup>	۱۷/۱۴ <sup>**</sup>	۱۰/۵۴ <sup>*</sup>	۳/۳۴ <sup>ns</sup>

¶ به ترتیب میانگین و خطای استاندارد.

\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. ns در سطح ۵٪ معنی دار نیست.

جدول ۴ - میانگین و خطای استاندارد مقاومت کششی ، مقاومت کششی واحد و مقاومت کششی ویژه برای زیرشکن تک شاخه تیغه ارتعاشی در وضعیتهای ارتعاشی و بدون ارتعاش.

تیمار	مقاومت کششی (kN)	مقاومت کششی واحد (N cm <sup>-1</sup> )	مقاومت کششی ویژه (N cm <sup>-2</sup> )
	X ± S.E. <sup>¶</sup>	X ± S.E. <sup>¶</sup>	X ± S.E. <sup>¶</sup>
بدون ارتعاش	۱۴/۴ ± ۰/۳۶	۴۲۲ ± ۱۰/۳	۱۲/۵ ± ۱/۱۳
ارتعاشی	۹/۷ ± ۰/۳۵	۲۷۷ ± ۱۰/۶	۸/۲ ± ۰/۴۸
	۲/۰۸ <sup>***</sup>	۶۱/۰۷ <sup>***</sup>	۳/۶۶ <sup>**</sup>

¶ به ترتیب میانگین و خطای استاندارد.

\*\* و \*\*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۰/۱ درصد.

ارتعاشی حدود ۲۰/۴ درصد بیشتر از وضعیت بدون ارتعاش بود. بازده کشش تراکتور در زیرشکن زنی با زیرشکن بدون ارتعاش (معمولی) ۵۸/۲ درصد بود، ولی، ولف و همکاران (۳۸) بازده کشش تراکتور در حین عمل زیرشکن زنی با زیرشکن معمولی را ۶۵ درصد بدست آوردند.

اگر چه توان مالبندی زیرشکن در وضعیت بدون ارتعاش

برش خاک از طریق محور تواندهی، مقدار کشش لازم در حالت تیغه ارتعاشی کاهش یافته (جدول ۴) و موجب کاهش درصد لغزش چرخهای محرک شده است. ضمناً کافی نبودن وزنه های سنگین کننده روی چرخهای محرک تراکتور کشنده احتمالاً موجب زیاد شدن درصد لغزش چرخهای محرک گردیده است.

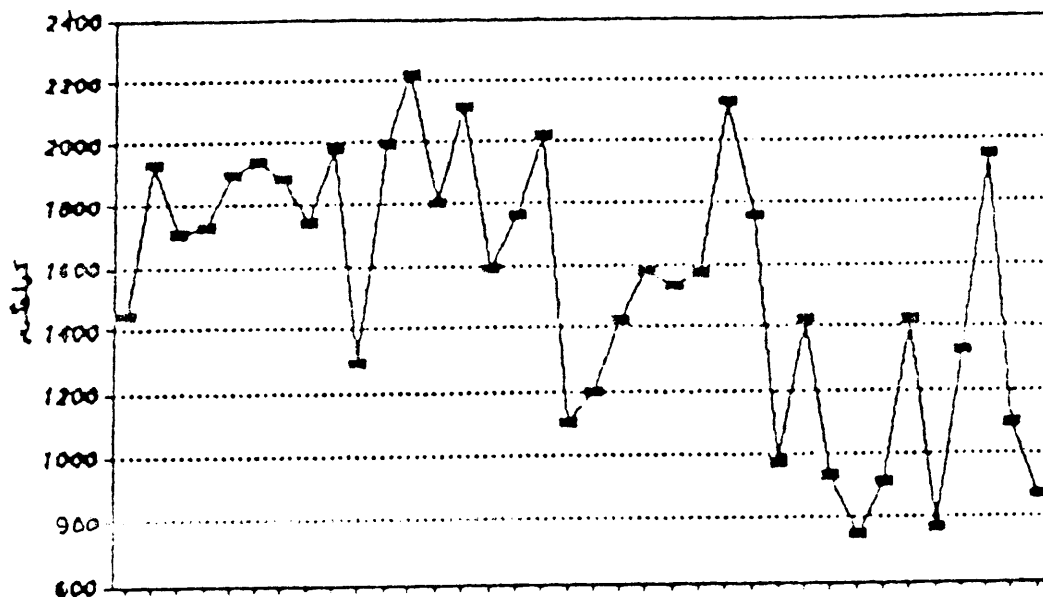
بازده کشش تراکتور در زیرشکن زنی با زیرشکن تیغه

می نمایند که یک روش حذف اثر تغییرات مقاومت کششی، میانگین گیری است. آنها نشان دادند که اگر اندازه نمونه (تعداد نقاط در طول هر آزمایش) به ترتیب ۲۰ و ۴۰ باشد، مقدار خطا در تخمین میانگین مقاومت کششی به ترتیب  $\pm 6/9$  و  $\pm 3/6$  می باشد. در این تحقیق با توجه به طولانی بودن زمان پاسخ دستگاه نشان دهنده، در طول ۱۰۰ متر، حداکثر ۳۴ عدد بدست آمد. ضمناً بمنظور ملحوظ کردن تغییرات خواص خاک در عرض مزرعه (یعنی عمود بر جهت حرکت) در مقدار مقاومت کششی اندازه گیری شده، هر تیمار دارای ۸ تکرار بود. متوسط مقادیر مقاومت کششی اندازه گیری شده تکرارهای مختلف در طول ۱۰۰ متر برای زیرشکن در وضعیتهای ارتعاشی و بدون ارتعاش و همراه با خط میانگین مقاومت کششی در دو وضعیت داده شده در شکل ۴ نشان داده شده است.

میانگین و خطای استاندارد مقاومت کششی، مقاومت واحد و مقاومت کششی ویژه زیرشکن با وضعیت های تیغه ارتعاشی و بدون ارتعاش در جدول ۴ نشان داده شده است. مقاومت کششی زیرشکن تک شاخه معمولی (بدون ارتعاش) در این خاک (لوم لای) با رطوبت ۱۷ درصد وزنی، در عمق کار ۳۵ سانتی متر در سرعت پیشروی ۲/۶ کیلومتر در ساعت برابر با ۱۴/۴ کیلونیوتن بود. اسمیت و ویلیفورد (۲۹) مقاومت کششی یک زیرشکن تک شاخه

حدود ۱۵ درصد بیشتر از زیرشکن در وضعیت تیغه ارتعاشی بود، ولی از نظر آماری اختلاف معنی دار نیست. بنابراین، با توجه باینکه زیرشکن تیغه ارتعاشی قسمتی از توان مورد نیاز خود را از طریق محور تواندهی دریافت می کند، لذا، توان کل مورد نیاز زیرشکن در وضعیت تیغه ارتعاشی بیشتر بود.

شکل ۳ نمونه ای از نمودار تغییرات مقاومت کششی زیرشکن در وضعیت بدون ارتعاش که در یک خاک لوم لای آزمایش شده است را نشان می دهد. آزمایش در سرعت ۲/۶ کیلومتر در ساعت و در عمق کار متوسط ۳۵ سانتی متر انجام گرفت. تغییرات زیاد در مقاومت کششی زیرشکن می تواند مربوط به دو فاکتور باشد. فاکتور اول مربوط به تغییرات دوره ای در گسیختگی اعمال شده در خاک (وقوع سطوح گسیختگی برشی در فواصل منظم در خاک) توسط زیرشکن است (۷، ۱۹ و ۲۷). فاکتور دومی که بر مقاومت کششی اثر می کند مربوط به تغییرات خواص خاک در مزرعه (تغییر پذیری فاصله ای<sup>۱</sup>) است گلنسی و آپادهیا یا (۸) اظهار می دارند که هر دو فاکتور می توانند باعث تغییرات زیادی در مقاومت کششی اندازه گیری شده در فاصله زمانی کوتاهی گردد و اعلام می دارند که اندازه گیری مقاومت کششی در هر لحظه زمانی نمی تواند معرف مقاومت کششی خاک در شرایط داده شده باشد. آنها پیشنهاد



شکل ۳ - نمونه ای از تغییرات مقاومت کششی زیرشکن در طول یک کرت ۱۰۰ متری

یک فاز به سمت عقب بر می گردد و تیغه در هنگام عقب نشینی فقط نیروی اصطکاک ناچیزی را تحمل می کند. یک کاهش ۵۲٪ در مقاومت کششی زیر شکن ساقه ارتعاشی با دامنه ۴ سانتی متر و فرکانس ۵ هرتز در سرعت پیشروی ۲/۰۵ کیلومتر در ساعت گزارش شده است (۱۵). در این گزارش، کاهش نیروهای اصطکاک بر روی وسیله، عامل کاهش مقاومت کششی شناخته شده است.

مقاومت واحد زیر شکن بدون ارتعاش (معمولی) در این خاک (لوم لای) ۴۲۲ نیوتن بود. بر طبق استاندارد انجمن مهندسين کشاورزی آمریکا (۱)، مقاومت کششی برای هر شاخه زیر شکن بازاء هر سانتی متر عمق کار آن در یک خاک لوم رسی بین ۱۷۵ تا ۲۸۰ نیوتن تغییر می کند. بنابراین، نوع و شرایط خاک در تعیین مقاومت کششی زیر شکن ها موثر می باشند.

ارتفاع بالا آمدگی خاک در اثر زیر شکن زنی در حالت بدون ارتعاش و ارتعاشی به ترتیب  $1/1 \pm 7/1$  و  $1/7 \pm 6/7$  سانتی متر بود (میانگین  $\pm$  انحراف معیار). نمونه هایی از سطح بهم خورده خاک در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطوریکه در این نمودارها پیداست، اختلاف زیادی بین این دو حالت زیر شکن زنی وجود ندارد و سطوح گسیختگی تغییرات خاصی نسبت به یکدیگر ندارد. کم بودن پهنای تیغه زیر شکن و فشردگی خاک در عمق موجب گردید که گسیختگی در عمق خاک کمتر اتفاق افتد. با بررسی ۴۸ پروفیل زده شده، ملاحظه گردید که در بعضی از حالات احتمالاً زیر شکن به عمق بحرانی<sup>۳</sup> خود رسیده بود. تفاوت معنی داری بین مساحت سطح بهم خورده در بالا و زیر سطح اولیه خاک و کل سطح بهم خورده خاک برای حالت های ارتعاشی و بدون ارتعاش وجود نداشت (جدول ۵). ارتعاش تیغه در خاک های سفت محل آزمایش تاثیر چندانی در گسترش منطقه گسیختگی هلالی<sup>۴</sup> نداشت و حرکات ممتد بالا و پایین تیغه نتوانست گسیختگی عرضی<sup>۵</sup> را متناسب با عمق کار تیغه افزایش دهد. بنابراین، بنظر می رسد که مکانیسم ایجاد سطوح گسیختگی در هر دو حالت مشابه بودند. نی یاما پا و همکاران (۱۷)، یک زیر شکن ساقه ارتعاشی<sup>۶</sup> در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش را در خاک رسی شنی در دو سطح رطوبت مقایسه نمودند. در رطوبت

معمولی در خاک لوم رسی سیلت دار<sup>۱</sup> با رطوبت ۱۰/۸ درصد وزنی در عمق کار ۵۲ سانتی متر در سرعت پیشروی ۳/۲۳ کیلومتر در ساعت را برابر با ۲۹/۶ کیلونیوتن گزارش نمودند. از طرف دیگر اسمیت (۲۸) مقاومت کششی یک زیر شکن تک شاخه پارابولیک در یک خاک لوم شنی<sup>۲</sup> با رطوبت ۱۰/۸ درصد وزنی در عمق کار ۵۴ سانتی در سرعت ۳/۵ کیلومتر در ساعت را برابر با ۲۵/۳۶ کیلونیوتن گزارش نمود. گلنسی و همکاران (۹) مقاومت کششی یک زیر شکن دو شاخه پارابولیک در خاک رسی با رطوبت ۹/۳ درصد وزنی در عمق کار ۳۰/۵ سانتی متر و در ساعت پیشروی ۲/۴ کیلومتر در ساعت را برابر ۱۸/۸ کیلونیوتن بدست آوردند.

ارتعاش، مقاومت کششی زیر شکن را بطور متوسط باندازه ۳۳٪ کاهش داد. ارتعاش ادوات خاک ورزی می تواند مقاومت کششی ادوات را نسبت به حالت بدون ارتعاش کاهش دهد (۲، ۳۱ و ۳۳). گان و ترامون تینی (۱۱) گزارش نمودند که در بعضی از سرعت های نسبی وسیله ارتعاشی (نسبت به سرعت پیشروی تراکتور)، مقاومت کششی در اثر ارتعاش، یک سوم کاهش می یابد. ارتعاش موجب کاهش مقاومت کششی از طریق کاهش اصطکاک بین خاک و عامل خاک ورز و اصطکاک داخلی خاک می شود (۳۶). سوهن (۳۱) گزارش نمود که ۶۰ درصد نیروی وارده بر سطح یک عامل خاک ورز صلب (بدون ارتعاش) از اصطکاک بین عامل خاک ورز و خاک و اصطکاک داخلی خاک حاصل می شود. نتایج تحقیقات جدید بر روی تیغه های ارتعاشی بولد وزرها و گاوآهنها نشان داد که کاهش معنی دار در مقاومت کششی، بخاطر کاهش مقاومت خاک از طریق کاهش چسبندگی و تشهای موثر در خاک های خشک تا ترد می باشد (۳۳).

ارتعاش تیغه اگر چه مقاومت کششی زیر شکن را کاهش داد، اما حرکت بالا و پایین تیغه ایجاب میکرد که در هر لحظه بر روی سطح تیغه، از طرف خاک نیرویی اعمال شود. با نفوذ لبه جلو تیغه، مقاومت خاک در مقابل نفوذ تیغه و هنگام حرکت تیغه به سمت بالا، وزن خاک جدا شده بر روی آن موجب می شود که تیغه بطور مداوم تحت اثر نیرو قرار گیرد. در زیر شکن های ساقه ارتعاشی، در

1 - Silty clay loam

2- Dundee very fine sandy loam

3- Critical depth

4 - Crescent failure

5 - Lateral failure

6- Vibrating shank

جدول ۵ - میانگین و خطای استاندارد مساحت سطح بهم خورده خاک و قطر متوسط وزنی کلوخه برای زیرشکن تک شاخه تیغه ارتعاشی در وضعیتهای ارتعاشی و بدون ارتعاش.

قطر متوسط وزنی کلوخه (cm) $X \pm S.E.^{**}$	مساحت سطح بهم خورده خاک ( $cm^2$ )			تیمار
	کل	بالای سطح اولیه	زیر سطح اولیه	
	$X \pm S.E.^{**}$	$X \pm S.E.^{**}$	$X \pm S.E.^{**}$	
$10/7 \pm 0/76$	$1912 \pm 141$	$694 \pm 66$	$1218 \pm 109$	بدون ارتعاش
$7/4 \pm 0/55$	$1859 \pm 81$	$644 \pm 64$	$1215 \pm 84$	ارتعاشی
$2/97^{**}$	$315^{ns}$	$200^{ns}$	$300^{ns}$	L.S.D.

\*\* به ترتیب میانگین و خطای استاندارد.

\* معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد.

ns در سطح ۵٪ معنی دار نیست.

جدول ۶ - مقادیر ثابتهای و معادله نفوذ تجمعی و ثابتهای f, c و معادله سرعت نفوذ لحظه ای برای قبل از زیرشکن زنی و پس از زیرشکن زنی با زیرشکن تیغه ارتعاشی در حالتی ارتعاشی و بدون ارتعاش.

تیمار	a	b	c	f
قبل از زیرشکن زنی	$0/10084$	$0/8752$	$0/08826$	$0/1248$
پس از زیرشکن زنی				
زنی با زیرشکن:				
بدون ارتعاش	$5/1478$	$0/4329$	$2/2282$	$0/5671$
ارتعاشی	$7/4814$	$0/3259$	$2/4379$	$0/6741$

جدول ۷ - زمان رسیدن به نفوذ نهایی آب به خاک قبل از زیرشکن زنی و پس از زیرشکن زنی با زیرشکن تیغه ارتعاشی در حالتی ارتعاشی و بدون ارتعاش.

تیمار	زمان رسیدن به نفوذ نهایی (min)	سرعت نفوذ نهایی ( $mm h^{-1}$ )
قبل از زیرشکن زنی پس از زیرشکن زنی با زیرشکن:	۷۵	۳۱
بدون ارتعاش	۳۴۰	۴۹
ارتعاشی	۴۰۵	۲۶

یک فاز به سمت عقب بر می گردد و تیغه در هنگام عقب نشینی فقط نیروی اصطکاک ناچیزی را تحمل می کند. یک کاهش ۵۲٪ در مقاومت کششی زیر شکن ساقه ارتعاشی با دامنه ۴ سانتی متر و فرکانس ۵ هرتز در سرعت پیشروی ۲/۰۵ کیلومتر در ساعت گزارش شده است (۱۵). در این گزارش، کاهش نیروهای اصطکاک بر روی وسیله، عامل کاهش مقاومت کششی شناخته شده است.

مقاومت واحد زیر شکن بدون ارتعاش (معمولی) در این خاک (لوم لای) ۴۲۲ نیوتن بود. بر طبق استاندارد انجمن مهندسين کشاورزی آمریکا (۱)، مقاومت کششی برای هر شاخه زیر شکن بازاء هر سانتی متر عمق کار آن در یک خاک لوم رسی بین ۱۷۵ تا ۲۸۰ نیوتن تغییر می کند. بنابراین، نوع و شرایط خاک در تعیین مقاومت کششی زیر شکن ها موثر می باشند.

ارتفاع بالا آمدگی خاک در اثر زیر شکن زنی در حالت بدون ارتعاش و ارتعاشی به ترتیب  $1/3 \pm 7/1$  و  $1/7 \pm 6/7$  سانتی متر بود (میانگین  $\pm$  انحراف معیار). نمونه هایی از سطح بهم خورده خاک در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطوریکه در این نمودارها پیداست، اختلاف زیادی بین این دو حالت زیر شکن زنی وجود ندارد و سطوح گسیختگی تغییرات خاصی نسبت به یکدیگر ندارد. کم بودن پهنای تیغه زیر شکن و فشردگی خاک در عمق موجب گردید که گسیختگی در عمق خاک کمتر اتفاق افتد. با بررسی ۴۸ پروفیل زده شده، ملاحظه گردید که در بعضی از حالات احتمالاً زیر شکن به عمق بحرانی<sup>۳</sup> خود رسیده بود. تفاوت معنی داری بین مساحت سطح بهم خورده در بالا و زیر سطح اولیه خاک و کل سطح بهم خورده خاک برای حالت های ارتعاشی و بدون ارتعاش وجود نداشت (جدول ۵). ارتعاش تیغه در خاک های سفت محل آزمایش تاثیر چندانی در گسترش منطقه گسیختگی هلالی<sup>۴</sup> نداشت و حرکات ممتد بالا و پایین تیغه نتوانست گسیختگی عرضی<sup>۵</sup> را متناسب با عمق کار تیغه افزایش دهد. بنابراین، بنظر می رسد که مکانیسم ایجاد سطوح گسیختگی در هر دو حالت مشابه بودند. نی یاما پا و همکاران (۱۷)، یک زیر شکن ساقه ارتعاشی<sup>۶</sup> در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش را در خاک رسی شنی در دو سطح رطوبت مقایسه نمودند. در رطوبت

معمولی در خاک لوم رسی سیلت دار<sup>۱</sup> با رطوبت ۱۰/۸ درصد وزنی در عمق کار ۵۲ سانتی متر در سرعت پیشروی ۳/۲۳ کیلومتر در ساعت را برابر با ۲۹/۶ کیلونیوتن گزارش نمودند. از طرف دیگر اسمیت (۲۸) مقاومت کششی یک زیر شکن تک شاخه پارابولیک در یک خاک لوم شنی<sup>۲</sup> با رطوبت ۱۰/۸ درصد وزنی در عمق کار ۵۴ سانتی در سرعت ۳/۵ کیلومتر در ساعت را برابر با ۲۵/۳۶ کیلونیوتن گزارش نمود. گلنسی و همکاران (۹) مقاومت کششی یک زیر شکن دو شاخه پارابولیک در خاک رسی با رطوبت ۹/۳ درصد وزنی در عمق کار ۳۰/۵ سانتی متر و در ساعت پیشروی ۲/۴ کیلومتر در ساعت را برابر ۱۸/۸ کیلونیوتن بدست آوردند.

ارتعاش، مقاومت کششی زیر شکن را بطور متوسط باندازه ۳۳٪ کاهش داد. ارتعاش ادوات خاک ورزی می تواند مقاومت کششی ادوات را نسبت به حالت بدون ارتعاش کاهش دهد (۲، ۳۱ و ۳۳). گان و ترامون تینی (۱۱) گزارش نمودند که در بعضی از سرعت های نسبی وسیله ارتعاشی (نسبت به سرعت پیشروی تراکتور)، مقاومت کششی در اثر ارتعاش، یک سوم کاهش می یابد. ارتعاش موجب کاهش مقاومت کششی از طریق کاهش اصطکاک بین خاک و عامل خاک ورز و اصطکاک داخلی خاک می شود (۳۶). سوهن (۳۱) گزارش نمود که ۶۰ درصد نیروی وارده بر سطح یک عامل خاک ورز صلب (بدون ارتعاش) از اصطکاک بین عامل خاک ورز و خاک و اصطکاک داخلی خاک حاصل می شود. نتایج تحقیقات جدید بر روی تیغه های ارتعاشی بولد وزرها و گاو آهنها نشان داد که کاهش معنی دار در مقاومت کششی، بخاطر کاهش مقاومت خاک از طریق کاهش چسبندگی و تشهای موثر در خاکهای خشک تا ترد می باشد (۳۳).

ارتعاش تیغه اگر چه مقاومت کششی زیر شکن را کاهش داد، اما حرکت بالا و پایین تیغه ایجاد می کرد که در هر لحظه بر روی سطح تیغه، از طرف خاک نیرویی اعمال شود. با نفوذ لبه جلویی تیغه، مقاومت خاک در مقابل نفوذ تیغه و هنگام حرکت تیغه به سمت بالا، وزن خاک جدا شده بر روی آن موجب می شود که تیغه بطور مداوم تحت اثر نیرو قرار گیرد. در زیر شکن های ساقه ارتعاشی، در

1 - Silty clay loam

2- Dundee very fine sandy loam

3- Critical depth

4 - Crescent failure

5 - Lateral failure

6- Vibrating shank

جدول ۵ - میانگین و خطای استاندارد مساحت سطح بهم خورده خاک و قطر متوسط وزنی کلوخه برای زیرشکن تک شاخه تیغه ارتعاشی در وضعیتهای ارتعاشی و بدون ارتعاش.

قطر متوسط وزنی کلوخه (cm) $X \pm S.E.^{**}$	مساحت سطح بهم خورده خاک ( $cm^2$ )			تیمار
	کل	بالای سطح اولیه	زیر سطح اولیه	
	$X \pm S.E.^{**}$	$X \pm S.E.^{**}$	$X \pm S.E.^{**}$	
$10/7 \pm 0/76$	$1912 \pm 141$	$694 \pm 66$	$1218 \pm 109$	بدون ارتعاش
$7/4 \pm 0/55$	$1859 \pm 81$	$644 \pm 64$	$1215 \pm 84$	ارتعاشی
$2/97^{**}$	$315^{ns}$	$200^{ns}$	$300^{ns}$	L.S.D.

\*\* به ترتیب میانگین و خطای استاندارد.

\* \* معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد.

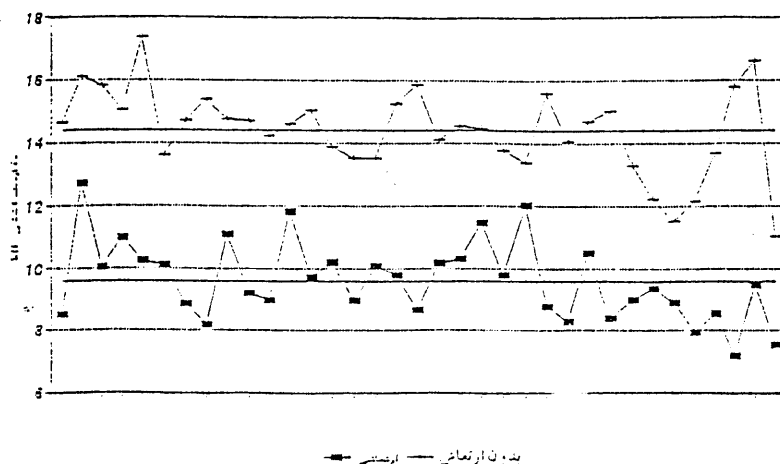
ns در سطح ۵٪ معنی دار نیست.

جدول ۶ - مقادیر ثابتهای و معادله نفوذ تجمعی و ثابتهای f, c و معادله سرعت نفوذ لحظه ای برای قبل از زیرشکن زنی و پس از زیرشکن زنی با زیرشکن تیغه ارتعاشی در حالتها ارتعاشی و بدون ارتعاش.

تیمار	a	b	c	f
قبل از زیرشکن زنی	$0/10084$	$0/8752$	$0/08826$	$0/1248$
پس از زیرشکن زنی با زیرشکن:				
بدون ارتعاش	$5/1478$	$0/4329$	$2/2282$	$0/5671$
ارتعاشی	$7/4814$	$0/3259$	$2/4379$	$0/6741$

جدول ۷ - زمان رسیدن به نفوذ نهایی آب به خاک قبل از زیرشکن زنی و پس از زیرشکن زنی با زیرشکن تیغه ارتعاشی در حالتها ارتعاشی و بدون ارتعاش.

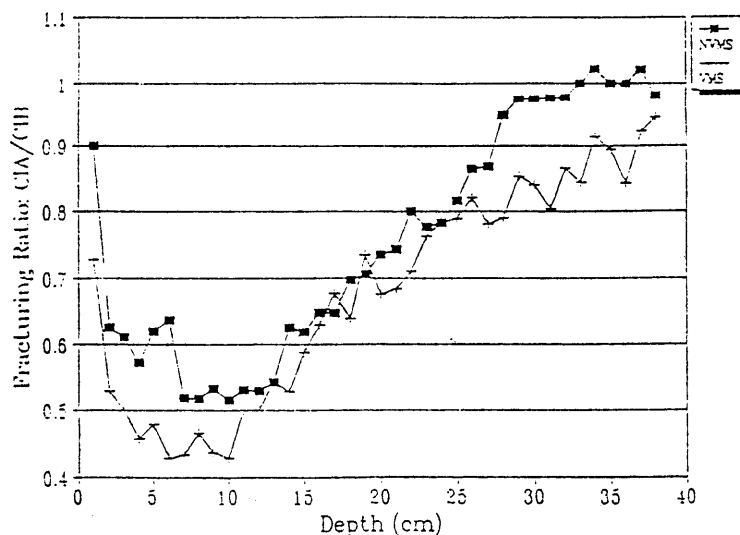
تیمار	زمان رسیدن به نفوذ نهایی (min)	سرعت نفوذ نهایی ( $mm h^{-1}$ )
قبل از زیرشکن زنی پس از زیرشکن زنی با زیرشکن:	۷۵	۳۱
بدون ارتعاش	۲۴۰	۴۹
ارتعاشی	۴۰۵	۲۶



شکل ۴ - نمودار میانگین تغییرات مقاومت کششی همراه با خط میانگین برای زیر شکن تیغه ارتعاشی در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاشی در خاک لوم لای در طول ۱۰۰ متر (متوسط عمق کار ۳۵ سانتی متر).



شکل ۵ - نمونه ای از سطح بهم خورده خاک که بوسیله زیر شکن تیغه ارتعاشی در دو حالت (a) بدون ارتعاش و (b) ارتعاشی ، سست و لق شده است .



شکل ۶ - بهبود در شاخص مخروطی خاک در اثر زیر شکن زنی با زیر شکن تک شاخه ارتعاشی در دو حالت بدون ارتعاش (NVMS) و ارتعاشی (VMS). CIA و CIB به ترتیب مقادیر شاخص مخروطی قبل و بعد از زیر شکن زنی است . نسبتهای کمتر از یک نمایشگر کاهش در مقاومت خاک در اثر زیر شکن زنی می باشد.

۱۶/۴٪ وزنی خشک، سطح بهم خورده خاک در حالت ارتعاشی کمی بیشتر از حالت بدون ارتعاش بود.

مقاومت کششی ویژه زیرشکن تیغه ارتعاشی بطور معنی داری کمتر از مقدار مربوط به زیرشکن در حالت بدون ارتعاش بود. اختلاف معنی داری که بین تیمارهای ارتعاشی و بدون ارتعاش بدست آمد، با توجه به یکسان بودن تقریبی سطوح بهم خورده خاک، بعلت بالاتر بودن مقاومت کششی در زیرشکن بدون ارتعاش بود. مقاومت کششی ویژه زیرشکن معمولی ۱۲/۵ نیوتن بر سانتی متر مربع بود. استفاده از ارتعاش سبب شد که مقاومت کششی ویژه بطور متوسط ۳۴٪ کاهش یابد. مقاومت کششی ویژه یک زیرشکن تک شاخه معمولی با تیغه ای به پهنای ۶/۵ سانتی متر در خاک رسی با عمق کار مشابه برابر با ۲۰/۸ نیوتن بر سانتی متر مربع گزارش شده است. (۳۲).

قبل از عملیات زیرشکن زنی، مقاومت خاک در لایه ۰-۳۵ سانتی متری، ۱/۷ مگاپاسکال بود. ولی، مقاومت خاک پس از زیرشکن زنی برای حالت بدون ارتعاش و ارتعاشی به ترتیب به ۱/۳ و ۱/۲۵ مگاپاسکال کاهش یافت. نسبت شاخص مخروطی پس از زیرشکن زنی به قبل از زیرشکن زنی (نسبت شکستگی<sup>۱</sup>) بیانگر اثر زیرشکن زنی بر کاهش مقاومت خاک می باشد (۲۰). زیرشکن در وضعیت بدون ارتعاش اثر کمتری روی مقاومت خاک نسبت به حالت ارتعاشی داشت، چرا که ارتعاش موجب شکستگی بیشتر خاک گردید و شکل ۶ نشان می دهد که بیشترین کاهش در مقاومت به نفوذ مخروطی در اثر زیرشکن زنی در ۲۰ سانتی متری سطح خاک رخ داده است.

بنابراین، بیشترین بهم خوردگی در خاک سطح الارض<sup>۲</sup> رخ داده است. ولی، با افزایش عمق، عرض بهم خوردگی خاک کاهش یافته (شکل ۵) و نسبت شکستگی افزایش یافت.

قطر متوسط وزنی کلوخه ها در حالت بدون ارتعاش بطور معنی دار بیشتر از حالت ارتعاشی بود (جدول ۵). کوچکتر بودن قطر متوسط وزنی کلوخه ها در حالت تیغه ارتعاشی مربوط به اثر ارتعاش در شکستن کلوخه های درشتتر (بزرگتر از ۱۰ سانتی متر) بود (شکل ۷). گزارش شده است که عامل خاک ورز ارتعاشی در مقایسه با نوع غیر ارتعاشی، کلوخه هایی با ابعاد کوچکتر تولید

می کند (۲۵).

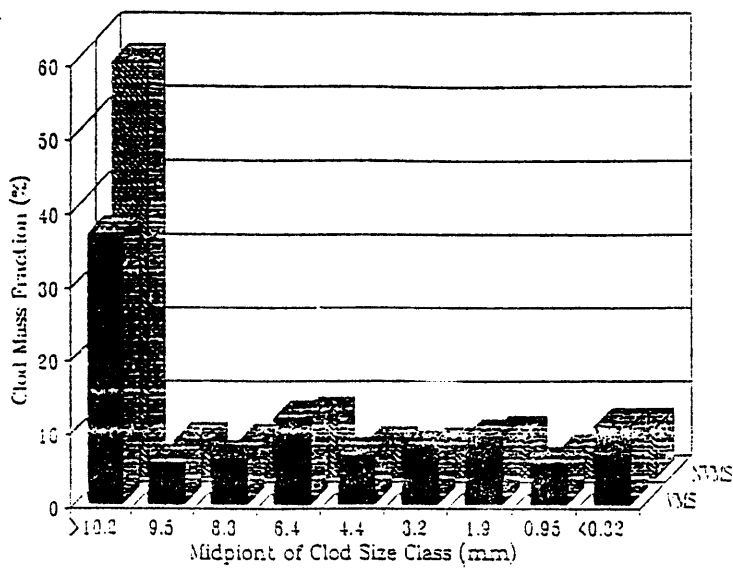
منحنیهای نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب به خاک بر حسب زمان بعد از زیرشکن زنی در دو حالت ارتعاش دار و بدون ارتعاش در شکل ۸ نشان داده شده است. ثابتهای معادله های نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ لحظه ای برای حالت بدون ارتعاش و تیغه ارتعاشی در جدول ۶ آورده شده است. بطور کلی زیرشکن زنی موجب افزایش معنی داری در زمان رسیدن به نفوذ نهایی آب به خاک شده بطوریکه به ترتیب به اندازه ۳۵۴ و ۴۴۰ درصد افزایش در حالت بدون ارتعاش و تیغه ارتعاشی حاصل شد. پس از زیرشکن زنی به دلیل شکسته شدن و خرد شدن لایه های سطحی و عمقی در خاک و تشکیل فضاهای بزرگ بین کلوخها و ترکهای حاصله، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش یافت و حجم ذخیره آب در خاک زیاد شد و نفوذ اولیه آب به خاک براحتی انجام گرفت. زمان رسیدن به نفوذ و سرعت نهایی آب در خاک قبل و بعد از زیرشکن زنی در جدول ۷ نشان داده شده است. اختلاف سرعت نفوذ نهایی بین این دو حالت ممکن است در اثر ارتعاش و کاهش اندازه کلوخهای بزرگ و درهم رفتگی قطعات خاک و کاهش خلل فرج درشت و یا پیوستگی خلل و فرج خاک دانست. ضمناً اعمال فشار و زدن ضربه توسط قسمت زیرین جلوی تیغه زیرشکن به کف شیار در حالت ارتعاشی و خصوصاً در خاک بسیار سفت موجب ایجاد تراکم کمی در کف شیار گشته که می تواند سرعت نفوذ نهایی آب در خاک را کمتر کرده باشد.

نتیجه گیری

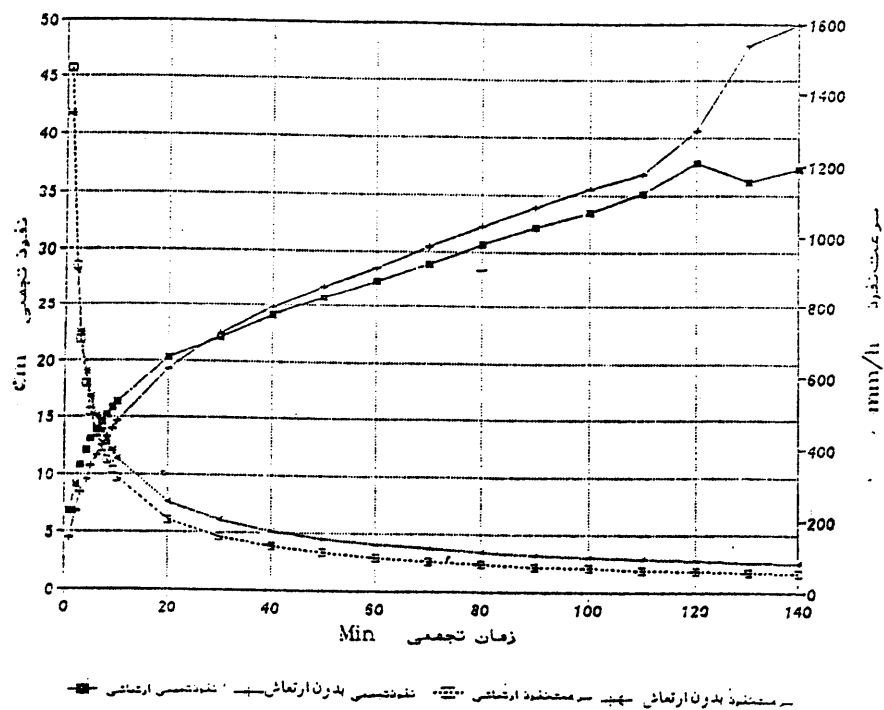
نتایج این تحقیق را می توان بصورت زیر بیان نمود:

- ۱ - استفاده از ارتعاش موجب کاهش مقاومت کششی و مقاومت ویژه زیرشکن به ترتیب باندازه ۳۳ و ۳۴ درصد گردید.
- ۲ - درصد لغزش چرخهای محرک تراکتور در ضمن کار با زیرشکن تیغه ارتعاشی در مقایسه با زیرشکن تیغه ثابت بطور معنی داری کاهش یافت.
- ۳ - بازده کشش تراکتور در حالت زیرشکن زنی با زیرشکن تیغه ارتعاشی بطور معنی داری بیشتر از زیرشکن تیغه ثابت بود.
- ۴ - مساحت سطح بهم خوردگی خاک در زیرشکنهای تیغه ارتعاشی و ثابت تفاوت معنی داری نداشت.





شکل ۷ - نمودار تغییرات ابعاد کلورخه ها بر مبنای وزنی برای زیر شکن تیغه ارتعاشی در دو حالت بدون ارتعاش (NVMS) و ارتعاشی (VMS)



شکل ۸ - منحنی های نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک بر حسب زمان پس از زیر شکن زنی با زیر شکن تیغه ارتعاشی در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش

زمان رسیدن به نفوذ نهایی را افزایش داد.

۵ - ارتعاش تیغه در خرد کردن کلوخه ها و کاهش قطر متوسط وزنی کلوخه ها بطور معنی داری موثر بود.

### سپاسگزاری

بدینوسیله از موسسه تحقیقات فنی و مهندسی و مرکز تحقیقات کشاورزی گرگان بخاطر تامین هزینه های اجرایی طرح تشکر می شود. از آقای یحیی ابومردانی برای همکاری در اجرای طرح صمیمانه تشکر می گردد.

۶ - مقاومت خاک در لایه زیرشکن زده شده (لایه ۳۵ - ۰ سانتی متری) باندازه ۲۵ درصد کاهش یافت، ولی تفاوت معنی داری بین دو حالت زیرشکن وجود نداشت.

۷ - انجام زیرشکن زنی، ضمن افزایش تخلخل خاک و بنابراین حجم آب ذخیره شده در خاک، سرعت نفوذ نهایی آب در خاک و

### REFERENCES

### مراجع مورد استفاده

1. ASAE Standards 39th Ed. 1992. EP496. Agricultural machinery management data. St. Joseph, MI, U.S.A.
2. Boyd, R. J. and C.L. Nalezny. 1967. A model of vibrating soil cutting. SAE Paper No. 670750.
3. Bush Soil Penetrometer SP1000. Version 1. 0. No date. Instruction Manual. Scotland: Findlay Irvine Ltd. 52p.
4. Eggenmuller, A. 1958. Field experiments with an oscillating plow body. Grumdlagen der Landerchnik 10:89 - 95. Translated by E. Harris (Caterpillar Translation No. 221).
5. Fattah, H. A. and S.K. Upadhyaya. 1996. Effect of soil crust and soil compaction on infiltration in a Yolo loam soil. Trans. of the ASAE 39(1): 79 - 84.
6. Frisby, J. C. and J. D. Summers. 1979. Energy related data for selected implements. Trans. of the ASAE 22(5):1010 - 1011.
7. Gee - Clough, D. 1994. Continuous soil failure. In Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, eds. V.M. Salokhe and G. Singh. 195 - 205. Bangkok, Thailand, 6-9 Dec.
8. Glancey, J.L. and S.K. Upadhyaya. 1995. An improved technique for agricultural implement draught analysis. Soil & Till. Res. 35:175-182.
9. Glancey, J. L., S. K. Upadhyaya, W. J. Chancellor and J.W. Rumsey. 1996. Prediction of agricultural implement draft using an instrumented analog tillage tool. Soil & Till. Res. 37:47-65.
10. Godwin, R. J. and G. Spoor. 1977. Soil failure with narrow tines. J. Agric. Eng. Res. 22:213 - 228.
11. Gunn, J. T. and V. N. Tramontini. 1955. Oscillation of tillage implements. Agricultural Engineering. 36:725 - 729.
12. Johnson, B. S., A. E. Erickson and W. B. Voorhees. 1989. Physical conditions of a Lake Plain soil as affected by deep tillage and wheel traffic. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1545 - 1551.
13. Kepner, R. A., R. Bainer and E. L. Barger. 1978. Principles of Farm Machinery. AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut, Third Edition. 527p.
14. Mukhtar, S., J. L. Baker, R. Horton and D. C. Erbach. 1985. Soil water infiltration as affected by the

- paraplow . Trans. of the ASAE 28(6):1811 - 1816.
15. Narayanarao . P. V. and S. R. Verma. 1982. Performance of a tractor - mounted oscillating soil working tool . AMA 13: 11 - 13, 33.
  16. Nichols M. L. and C. A. Reaves. 1958. Soil reaction to subsoiling equipment. Agr. Eng. 30:340 - 343.
  17. Niyamapa, Tanya. Chairat Rangdang, Paritas Wanasit and V. M. Salokhe. 1994. Soil disturbance under a locally - made vibratory subsoiler. In Proc. of the International Agricultural Engineering Conference, eds. V. M. Salokhe and Gajendra Singh, 190 - 197. Bangkok, Thailand , 6-9 Dec.
  18. Perfect, E., N.B. Mclaughlin and B. D. Kay. 1997. Energy requirements for conventional tillage following different crop rotations. Trans. of the ASAE 40:45 - 49.
  19. Rajaram, G. and D. Gee-Clough . 1988. Force - distance behaviour of tine implements . J. agric. Eng . Res. 41:81 - 98.
  20. Reeder, R. C., R. K. Wood, and 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 of Farm Machinery . Technical Series No. 12. Bangkok , Thailand . 129p.
  22. Sajka, R. E., D. T. Westermann, M. J. Brown and B. D. Meek . 1993. Zone - subsoiling effects on infiltration , runoff, erosion , and yields of furrow - irrigated potatoes. Soil & Till. Res. 25:351 - 368.
  23. Sakai, K., S. I. Hata, M. Takaj and S. Nambu. 1993. Design parameters of four shank vibrating subsoiler. Trans . of the ASAE 36(1): 23 - 26.
  24. Sakai, K., S. K. Upadhyaya and M. Sime. 1992. Variability of a double ring infiltration test . Trans. of the ASAE 35(4):1221 - 1226.
  25. Saqib, G. S., M. E. Wright and T. R. Way . 1982. Clod size reduction by vibrating diggers. ASAE Paper No. 82 - 1546, St. Joseph, Mich:ASAE.
  26. SchjØnning, P. and K. J. Rasmussen. 1994. Danish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load . Soil Till. Res. 29: 215 - 227.
  27. Sharma, U. K., Singh and D. Gee - Clough. 1994. Force - time behaviour of flat tines in dry sand . J. Agric. Eng. Res. 57:191 - 197.
  28. Simth, L. A. 1993. Energy requirements for selected crop production implements. Soil & Till. Res. 25:281 - 299.
  29. Simth, L. A. and J. R. R. Williford . 1988. Power requirements of conventional , triplex, and parabolic subsoilers. Trans. of the ASAE 31:1685 - 1688.
  30. Soehne, W. 1956. Some basic considerations of soil mechanics as applied to agricultural engineering. Grundlagen der Landerchnik 7:11 - 27. (NIAE Translation No. 53).
  31. Soehne, W. H. 1963. Aspects of tillage. Canadian J. of Agr. Eng. Jan. 2-3, 8.

32. Spoor, G. and R. J. Godwin . 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. J. Agric. Eng. Res. 23: 243 - 285.
33. Szbo, B., F. Barnes, S. Sture and H. Y. Ko. 1998. Effectiveness of vibrating bulldozer and plow blades on draft force reduction . Trans. of the ASAE 41(2):283-290.
34. Upadhyaya, S. K., T. H. Williams , L. J. Kemble and N. E. Collins. 1984. Energy requirements for chiseling in Coastal Plain soils. Trans. of the ASAE 27:1643 - 1649.
35. Venter, G. 1968. Development of a vibratiog plough. Modern Farming (Jume):19 - 21.
36. Verma, B. P. 1971. Osillating soil tools - A review. Trans. of the ASAE 14: 1707 - 1715, 1121.
37. Watts, C.W. and A. R. Dexter. 1994. Traffic and seasonal influence on the energy required for cultivation and on the subsequent tilth. Soild & Till. Res. 31: 303 - 322.
38. Wolf, D., T. H. Garner and J. W. Davis. 1981. Tillage mechanical energy input and soil - crop response . Trans. of the ASAE 24: 1412 - 1419, 1425.

## **Draft of Vibrating - share Subsoiler in Vibrating and Non-Vibrating Modes and its Effect on Soil Physical Properties**

**A. HEMMAT, H. R. SADEGH-NEJAD AND R. ALIMARDANI**

Associate Professor, Isfahan University of Technology, Technical Assistant of Agricultural Research Center of Gorgan and Assistant Professor, Faculty of Agriculture University of Tehran Karaj Iran.

Accepted Sep. 29, 1999

### **SUMMARY**

Subsoilers are used primarily to break through and shatter the deep compacted layers, but require very high mechanical energy. There is little information about energy requirement for subsoiling and its effect on soil physical properties in Iran. Therefore, this study was conducted to measure the draft requirement of a single shank, vibrating share subsoiler in vibrating and non - vibrating modes in a silt loam soil and to evaluate the effect of subsoiling on soil physical properties. The experiments were conducted on Iraqi Mahalleh Research Station, Golestan province, Gorgan, Iran ( $54^{\circ} 23' E$ ,  $36^{\circ} 57' N$ ). A randomized complete block design with four treatments (subsoiling at 30 and 40 cm depths with and without applied vibrations) and four replications were used. Draft requirement, specific draft, drawbar power requirement, wheel slip, forward speed, tractive efficiency, disturbed soil area, clod mean weight diameter, cone penetration index, final infiltration time and rate were measured or calculated. Draft requirement, specific draft, unit draft wheel slip were reduced and tractive efficiency was increased significantly when vibration was applied to subsoiler share. The draft reduction was about 33%. Due to the increase of soil bulk density with depth, the average subsoiling depth was 35 cm in all treatments. Draft requirements of subsoiler in vibrating and non - vibrating modes at tilling depth of 35 cm and forward speed of  $3.9 \text{ km h}^{-1}$  and at soil moisture content of 17% (d.b.) were 9.7 and 14.4 kN, respectively. The unit drafts were 277 and 422  $\text{N cm}^{-1}$  and the specific drafts were 8.2 and 12.5  $\text{N cm}^{-2}$ , respectively. The total resultant disturbed soil area was similar for vibrating and non - vibrating modes (1859

and 1912 cm<sup>2</sup>, respectively ). However , the clod mean weight diameter (MWD) significantly decreased with vibrating mode subsoiling (from 10.7cm to 7.4 cm). The subsoiling significantly reduced the average soil strength in the top 35 cm soil layer from. 1.7 to 1.3 MPa, but there was no significant difference between the vibrating and non - vibrating modes . Final infiltration time and rate for vibrating mode were 405 min and 26 mm h<sup>-1</sup> and for non - vibrating mode 340 min and 49 mm h<sup>-1</sup> were found.

**Key words:** Deep tillage, Subsoiler, Specific draft, Drawbar power, Soil strength, Clod Mean weight diameter, Infiltration rate.