تأثیر نسبت عمق کار به پهنای تیغه‌های باریک(d/w) بر نیروی کشش، سطح مقطع خاک به‌هم خورده و بازده نرم سازی خاک

محمد لغوی - حسین عزیزی علی‌آبادی[1]*

تاریخ دریافت: ۸۵/۸/۲۰
تاریخ پذیرش: ۸۷/۸/۲۰

چکیده

تیغه‌های خاک ورز باریک از مهم ترین ادوات خاک ورزی می‌باشند که در گاوآهن‌های قلمی، کولتیواتورها و زیرشکن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. نیروی مقاومت کششی این تیغه‌ها وابستگی زیادی به شکل هندسی و عمق کار دارد. مهم ترین ویژگی هندسی این تیغه‌ها نسبت عمق کار به پهنا (d/w) و زاویه حمله تیغه است. تلاش پژوهشگران بر آن است تا با توجه به نوع و شرایط هر منطقه، از این نوع تیغه‌ها به نحوی استفاده گردد که مصرف انرژی کمینه گشته و بیشینه بازدهی را در نرم سازی خاک داشته باشد. دراین تحقیق، تأثیر نسبت عمق کار به پهنای تیغه (d/w) در چهار سطح (۲، ۳، ۴ و ۵) و پهنای تیغه در سه سطح (۲/۵، ۵ و ۷/۵ سانتی متر) بر نیروی مقاومت کششی، سطح مقطع خاک به‌هم خورده و بازده نرم سازی خاک با استفاده از آزمایش فاکتوریل ۳×۴ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نیروی مقاومت کششی جهت حرکت تیغه‌ها با استفاده از یک لودسل ثبات اندازه‌گیری شد و مساحت سطح مقطع خاک به‌هم خورده توسط پروفیل‌متر و نرم افزارهای Curve Expert و Matlab5.6 تعیین گردید. بازده نرم سازی خاک نیز از تقسیم مساحت سطح مقطع خاک به‌هم خورده بر نیروی کشش محاسبه گردید. نتایج نشان داد که نسبت عمق کار به پهنای تیغه(d/w) به احتمال ۹۹درصد بر نیروی کشش موثر است. بالاترین نیروی مقاومت کششی برای همه تیغه‌ها در نسبت d/w برابر ۵ واقع گردید. برهمکنش پهنای تیغه و نسبت d/w نیز به احتمال ۹۹درصد در تغییرات نیروی مقاومت کششی معنی دار بود. میانگین نیروی مقاومت کششی در نسبت‌های d/w مشابه، با افزایش پهنای تیغه افزایش یافت. همچنین نتایج حاصل از این آزمون‌ها نشان داد که تأثیر نسبت عمق کار به پهنای تیغه‌های باریک(d/w) و بر همکنش پهنای تیغه و نسبت (d/w) به احتمال ۹۹درصد بر سطح مقطع خاک به‌هم خورده معنی دار است. در نسبتهای d/w مشابه، با افزایش پهنای تیغه سطح مقطع خاک به‌هم خورده افزایش یافت. آزمایش‌ها نشان داد که تأثیر نسبت d/w به احتمال ۹۹درصد بر بازده نرمسازی خاک تأثیر معنی دار است و تیغه‌های با پهنای ۷/۵ سانتی متر در نسبت d/w برابر ۳ به بالاترین بازدهی می‌رسند، در حالی که تیغه‌های با پهنای ۵ سانتی متر و ۲/۵ سانتی متر به ترتیب در نسبت‌های d/w برابر با ۴ و ۵ به بالاترین بازده نرم سازی خاک می‌رسند. میانگین بازده نرم سازی خاک در نسبت عمق کار به پهنای تیغه(d/w) برابر با ۳ حداکثر و در نسبت ۲ حداقل بود. لذا توصیه می‌شود که تیغه‌های باریک در نسبت d/w برابر ۳ و یا بالاتر و قبل از رسیدن به عمق بحرانی به‌کار گرفته شوند. میانگین بازده نرم سازی خاک در تیغه با پهنای ۷/۵ سانتی متر بالاترین و در تیغه با پهنای ۲/۵ سانتی متر کمترین مقدار بود. این نتیجه نشان می دهد که تیغه‌های پهن تر دارای بازده نرم سازی خاک بالاتری می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تیغه‌های باریک ،مقاومت کششی، سطح مقطع خاک به‌هم خورده، نرم سازی خاک، عمق بحرانی

۱- به ترتیب دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
* - نویسنده مسئول: Email: loghavi@shiraz u.ac.ir

مقدمه

خاک ورزی عبارت است از برهم زدن مکانیکی خاک و هدف اصلی آن ایجاد بستری مناسب جهت جوانه زنی بذر و رشد ریشه می‌باشد. مهم ترین قسمت ادوات خاک ورزی که با خاک درگیر می‌باشد و کار برش و نرم سازی را انجام می‌دهد، تیغه اینگونه ادوات است. پژوهشگران بر اساس فرم شکست خاک توسط تیغه‌های خاک ورز آنها را به دو گروه تیغه‌های باریک[1] و تیغه‌های پهن[2] تقسیم کرده‌اند (۵، ۷ و ۱۲). در تیغه‌های پهن در اثر حرکت تیغه، خاک در دو جهت رو به جلو و رو به بالا حرکت می‌کند. به همین دلیل نیروهای وارد بر خاک و فرم شکست خاک در این نوع تیغه‌ها در حالت دو بعدی بررسی می‌شود (۹). اما در تیغه‌های باریک مکانیزم حرکت خاک سه بعدی است به این معنی که حرکت تیغه موجب می‌شود تا خاک علاوه بر حرکت در دو جهت بالا و جلو به سمت کناره‌ها نیز حرکت کند. از آنجا که در حالت سه بعدی (تیغه‌های باریک) خاک بیشتری به ازای هر واحد عرض تیغه نسبت به حالت دو بعدی می‌بایست جا بجا شود، مقاومت کششی ویژه بزرگتری نسبت به حالت دو بعدی (تیغه‌های پهن) مورد انتظار خواهد بود. مک کایز و علی(۷) مدل‌های شماتیک این دو حالت را ارایه نمودند. در حالت کلی نیروی مورد نیاز برای کشش یک وسیله خاک ورز در خاک به ویژگی هندسی تیغه شامل: (پهنای تیغه و زاویه حمله تیغه[3])، وزن مخصوص خاک، رطوبت خاک، بافت خاک، عمق کار و سرعت پیشروی بستگی دارد. گیل و واندنبرگ(۴) اعلام کردند که نیروی کشش و همچنین شرایط نهایی خاک تابعی از ویژگی هندسی تیغه، چگونگی حرکت تیغه در خاک و شرایط اولیه خاک می‌باشد. اما عامل محدود کننده در تیغه‌های باریک پدیده ای به نام عمق بحرانی[4] است که این عمق به پهنای تیغه، عمق کار و شرایط خاک بستگی دارد(۵). عمق بحرانی برای هر تیغه، عمقی است که هر گاه تیغه در عمقی کمتر از این عمق کار کند خاک دارای حرکت سه بعدی است یعنی خاک به سمت جلو، بالا و کناره‌ها حرکت می‌کند، اما هرگاه تیغه در عمقی بیشتر از عمق بحرانی کار کند، در اثر افزایش نیروی عمودی حاصل از وزن خاک تیغه قادر به بالا آوردن خاک نیست و لذا خاک به سمت بالا حرکت نمی کند. بلکه فقط به کناره‌ها فشرده می‌شود و در اثر حرکت تیغه شیاری در خاک به جا می‌ماند. در این حالت سطح خاک گسیخته شده تغییر چندانی نمی کند اما نیروی کشش شدیدا افزایش می‌یابد که این پدیده باعث کاهش بازده نرم سازی خاک می‌شود. گادوین و اسپور (۵) با استفاده از روش کمینه سازی انرژی مورد نیاز برای حرکت تیغه در خاک روشی را برای برآورد عمق بحرانی تیغه‌های باریک پیشنهاد نمودند. تیغه با توجه به پهنائی که دارد در یک عمق مشخص به عمق بحرانی می‌رسد. به این معنی که عمق بحرانی به پهنای تیغه باریک نیز بستگی دارد و هر چه تیغه باریک تر باشد در عمق کمتری به عمق بحرانی می‌رسد. در تیغه‌های باریک پهنای تیغه و عمق کار تأثیر متقابلی در رسیدن یک تیغه باریک به عمق بحرانی دارند. لذا شرایط کاری یک تیغه باریک را با نسبت عمق کار به پهنای تیغه (d/w) بیان می‌کنند.

یکی از عوامل مهم در تیغه‌های باریک زاویه این تیغه‌ها با سطح افق می‌باشد که زاویه حمله نامیده می‌شود (۷ و ۸). در زوایای حمله کوچکتر نیروی عمودی بیشتری از طرف تیغه به خاک وارد می‌شود و لذا خاک راحت تر گسیخته

1 -Narrow tines
2 -Wide blades
3 -Rake angle
4 -Critical depth

می‌شود. مک کایز و علی(۷) گزارش نمودند که زاویه تیغه تأثیر زیادی بر سطح مقطع خاک به‌هم خورده ندارد، اما افزایش این زاویه موجب افزایش مقاومت کششی و کاهش بازده به‌هم خوردگی خاک[1] می‌شود. همچنین گزارش نمودند که با ثابت بودن عمق تیغه‌ها با کاهش نسبت d/w، یعنی افزایش پهنای تیغه، تغییرات مقاومت کششی متناسب با پهنای تیغه نیست و مقاومت کششی در واحد عرض تیغه‌های باریک خیلی بیشتر است. همچنین با ثابت بودن پهنای تیغه با افزایش عمق کار (افزایش نسبت d/w)، مقاومت کششی و سطح مقطع خاک به‌هم خورده[2] افزایش می‌یابد اما بازده نرم سازی کاهش می‌یابد. جعفری (۲) تأثیر زاویه حمله تیغه‌های باریک بر نیروی مقاومت کششی، سطح مقطع خاک به‌هم خورده و راندمان نرم سازی خاک را بررسی کرد. وی در این تحقیق زوایای ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه را مورد آزمایش قرار داد و به این نتیجه رسید که تغییرات زاویه حمله اثر معنی داری بر سطح خاک گسیخته شده ندارد، اما در زوایای کوچکتر نیروی مقاومت کششی کاهش می‌یابد. لذا در زوایای کوچکتر بازده نرم سازی خاک افزایش می‌یابد. در نهایت زاویه کمتر از ۳۰ درجه (محدوده بین ۱۵ و ۳۰ درجه) را به عنوان بهترین زاویه حمله معرفی کرد.

مک کایز و مسوورب (۸) تحقیقی جهت بررسی اثرات ویژگی‌های هندسی تیغه‌های خاک ورز بر بازده نرم سازی خاک انجام دادند. در این تحقیق زاویه حمله در سه سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه و نیز عرض تیغه در دو سطح و عمق کار در سه سطح مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش عرض، عمق و زاویه حمله تیغه، مقاومت کششی افزایش می‌یابد. همچنین سطح گسیخته شده خاک با افزایش پهنای تیغه و عمق کار افزایش و بازده نرم سازی خاک با افزایش پهنای تیغه افزایش می‌یابد. این محققین نتیجه گرفتند که بهترین طراحی برای تیغه، برای رسیدن به مقاومت کششی کمینه و بازده گسیختگی بیشینه این است که تیغه زاویه حمله ۳۰ درجه داشته باشد و در نسبت d/w برابر با ۲ و یا بیشتر کار کند. پلایس و همکاران (۱۱) آزمون‌هایی را برای بررسی اثر نسبت عمق کار به پهنای تیغه (d/w) انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که بهترین بازده نرم سازی خاک برای نسبت‌های ۳ و یا بیشتر به‌دست می‌آید.

هدف از اجرای تحقیق حاضر بررسی اثرات تغییر نسبت عمق به عرض کار تیغه‌های باریک بر مقاومت کششی، سطح مقطع خاک به‌هم خورده و بازده نرم سازی خاک می‌باشد. آزمایش‌ها بر روی سه تیغه به ترتیب با پهنای ۲/۵، ۵ و ۷/۵ سانتی متر و در چهار نسبت عمق به پهنای ۲، ۳، ۴ و ۵ در سه تکرار اجرا گردیده است.

مواد و روش‌ها

آزمون‌ها در آزمایشگاه انباره خاک[3] بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در کیلومتر ۱۵ جاده شیراز – مرودشت انجام گرفت. نوع خاک شنی رسی لومی (Sandy clay loam) با ترکیب ۵۰/۱درصد شن، ۲۲درصد سیلت و ۲۷/۹ رس و رطوبت خاک در حین آزمایش حدود ۱۶درصد بود. در این تحقیق از طرح فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار (۳ پهنا× ۴ نسبت d/w) و در سه تکرار انجام شد. تأثیر دو متغیر مستقل شامل نسبت d/w در چهار سطح ۲، ۳، ۴ و۵ و پهنای تیغه در سه سطح شامل ۲/۵، ۵ و ۷/۵ سانتیمتر، بر نیروی کشش، سطح مقطع خاک به‌هم خورده و بازده نرم سازی خاک مورد بررسی قرار گرفت. انباره استفاده شده در

1 - Soil loosening efficiency
2 - Soil disturbed area
3 -Soil bin

این تحقیق از نوع انباره‌های ایستاده روی زمین بود . طول، عرض و ارتفاع مخزن به ترتیب، ۸/۵، ۱/۵ و ۰/۶ متر می‌باشد. نیروی لازم جهت حرکت طولی دستگاه (محمل ادوات) از یک الکتروموتور با توانی برابر ۲۰ اسب بخار تأمین می‌شد. این انباره به عنوان یک پروژه تحقیقاتی مصوب شورای پژوهش‌های علمی کشور (۳) طراحی و ساخته شده است. برای انجام آزمایش‌ها به علت محدودیت فضا برای انجام آزمایش، انباره خاک جهت انجام یک تکرار به ۱۲ قسمت مساوی تقسیم شد و برای انجام هر تکرار مراحل آماده سازی خاک دوباره تکرار گردید. عرض انباره به ۳ قسمت و طول آن به ۴ قسمت تقسیم شد و آزمایش‌های مربوط به یک تیغه در جهت طولی و در امتداد هم انجام گرفت. عرض هر پلات آزمایشی برای هر تیمار حدود۳۵ سانتیمتر و طول آن در حدود ۱/۵ متر انتخاب گردید. وسیله خاک ورز در این تحقیق از دو قسمت اصلی ساقه و تیغه تشکیل شده بود. ساقه از یک قسمت عمودی ویک قسمت زاویه دار که با سطح افق زاویه ۳۰ درجه داشت تشکیل شده بود و تیغه بر روی قسمت پایینی ساقه نصب می‌شد. از قسمت عمودی ساقه جهت اتصال به دستگاه محمل ادوات استفاده می‌شد. تیغه‌ها دارای پهناهای ۲/۵، ۵ و ۷/۵ سانتیمتر، طول ۲۷۰ و ضخامت ۵ میلیمتر بودند. تیغه‌ها از جنس فولاد DF2 طبق استاندارد آساب سوئد و به شماره کلید فولاد ۱/۲۵۱۰ ساخته شد. دو ساقه از جنس فولاد ساختمانی و مقطع پروفیل قوطی مورد استفاده قرارگرفت. یک ساقه با سطح مقطع ۳۰×۲۰ میلیمتر برای تیغه ۲/۵ سانتیمتری و یک ساقه باسطح مقطع ۳۰×۴۴ میلیمتر برای تیغه‌های ۵ و ۷/۵ سانتیمتری. داده‌های‌اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل نیروی مقاومت کششی، سطح مقطع خاک به‌هم خورده، بازده نرم سازی خاک، رطوبت خاک، شاخص مخروط خاک و جرم مخصوص ظاهری خاک بود.

مقاومت کششی تیغه

برای‌اندازه‌گیری نیروی لازم جهت حرکت تیغه‌ها در خاک از دستگاه لودسل ۵ تنی Novatec^{TM} مدل (CLP-5B) استفاده گردید (شکل ۱). این دستگاه قادر به اندازه‌گیری نیرو تا ۵ تن (۵۰ کیلو نیوتن) می‌باشد. این لودسل مجهز به قسمت نمایش دهنده می‌باشد که دارای ۴۰ فایل و هر فایل قادر به ثبت ۱۰۰ داده می‌باشد. با توجه به نوع آزمایش می‌توان فاصله زمانی ثبت داده‌ها را تغییر داد. در این تحقیق۱۰۰ داده مربوط به هر آزمایش در یک فایل ذخیره شد. سپس برای جلوگیری از بروز خطا در اثر نیروهای ناشی از تأثیرات دینامیکی از ۲۰ داده ابتدایی و انتهایی چشم پوشی شد. سپس میانگین داده‌های باقیمانده به عنوان نیروی لازم برای کشش تیغه بر حسب نیوتن در نظر گرفته شد.

سطح مقطع خاک به‌هم خورده

برای تعیین مساحت گسیختگی خاک در هر تیمار، پس از عبور تیغه درخاک، یک برش عمودی بوسیله یک صفحه فلزی در خاک ایجاد شد. پس از تخلیه خاک نرم شده در یک طرف صفحه به‌وسیله دست و به کمک یک برس، پروفیل سنج[1] را بر روی سطح خاک قرار داده و میله‌های آن تا برخورد با سطح خاک پایین آورده می‌شد (شکل ۲). بدین ترتیب مختصات تعدادی از نقاط سطح گسیختگی به دست می‌آمد. سپس مختصات این نقاط در برنامه E xcel وارد و نمودار گسیختگی رسم می‌شد و برای به‌دست آوردن مساحت سطح مقطع، ابتدا با استفاده از نرم افزار (Curve expert) یک منحنی بر داده‌ها منطبق و فرمول این منحنی توسط نرم افزار ارایه می‌شد. در نهایت با استفاده از انتگرال گیری از منحنی با استفاده از نرم افزار (Matlab 5.6) مساحت زیر منحنی به‌دست می‌آمد.

1 - Profilemeter

(شکل۱) - لودسل و قسمت نمایش دهنده

(شکل۲) - نحوه اندازه گیری سطح مقطع خاک به‌هم خورده با استفاده از پروفیل متر

بازده نرم سازی خاک

بازده نرم سازی عبارت است از مقدار سطح مقطع خاک به‌هم خورده به ازاء اعمال یک واحد نیرو و واحد آن N/cm^2 می‌باشد. با توجه به در اختیار داشتن مقدار نیروی کشش و سطح مقطع خاک به‌هم خورده از تقسیم سطح مقطع بر نیروی کشش بازده نرم سازی به‌دست می‌آید.

رطوبت خاک

با توجه به اینکه رطوبت مطلوب برای کار با تیغه‌های چیزل رطوبتی در حدود ۱۶ درصد است، ابتدا کل سطح خاک مخزن آبیاری و سطح مخزن با یک لایه پلاستیکی پوشانده شد تا پس از چند روز رطوبت خاک در سراسر مخزن یکنواخت شود، سپس به‌طور روزانه از نقاط مختلف خاک مخزن به‌صورت تصادفی نمونه برداری شد. این نمونه‌ها با هم مخلوط شد و در نهایت یک نمونه بعد از وزن کردن در آون و در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. پس از طی این زمان نمونه از آون خارج شده و دوباره وزن شد. با توجه به فرمول زیر درصد رطوبت نمونه، بر پایه وزن خشک به‌صورت زیر محاسبه شد.

$$\% \ mc_{d.b} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100$$

در رابطه بالا ($mc_{d.b}$) رطوبت نمونه بر پایه وزن خشک، (W_w) وزن اولیه نمونه در حالت مرطوب و (W_d) وزن ثانویه نمونه در حالت خشک می‌باشد. با تداوم نمونه گیری و رطوبت سنجی به طور روزانه و رسیدن رطوبت خاک به ۱۶ درصد اجرای آزمون‌ها آغاز گردید.

اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک

بعد از اینکه خاک به اندازه کافی با غلتک فشرده شد، برای تعیین جرم مخصوص ظاهری آن، توسط استوانه‌های نمونه گیر که دارای قطر ۵۵ میلیمتر و ارتفاع ۴۰ میلیمتربودند، از عمق‌های (۵-۰ ، ۱۰-۵ و ۱۵-۱۰) سانتیمتر نمونه‌هایی برداشت شد و ابتدا همه نمونه‌ها در آون و در دمای ۱۰۵ درجه قرار گرفت، بعد از ۲۴ ساعت نمونه‌های خشک وزن شده و وزن به‌دست آمده بر حجم استوانه تقسیم شد و مقدار متوسط جرم مخصوص ظاهری به‌دست آمد. در این آزمایش میانگین جرم مخصوص ظاهری نمونه‌ها ۱/۶۵ گرم بر سانتیمتر مکعب به‌دست آمد.

اندازه‌گیری شاخص مخروط خاک[1]

برای تعیین شاحص مخروط خاک از نفوذ سنج مخروطی ثبات Bush™ مدل (SP-1000) استفاده شد. جهت تعیین شاخص مخروط خاک انباره ابتدا ۸ نفوذ به‌طور تصادفی در نقاط مختلف انباره تا عمق ۳۵ سانتیمتری خاک انجام شد. سپس برای به‌دست آوردن مقاومت به نفوذ در هر عمق، میانگین اعداد به‌دست آمده برای عمق مورد نظر به‌دست آمد و این عدد به عنوان مقاومت به نفوذ آن عمق درنظر گرفته شد. این اعداد بر حسب کیلوگرم به‌دست می‌آید. برای به‌دست آوردن شاخص مخروط باید عدد مذکور را به نیوتن تبدیل نموده و آن را بر سطح قاعده مخروط تقسیم کرد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس آثار اصلی و متقابل نسبت d/w و پهنای تیغه بر مقاومت کشش، سطح مقطع خاک بر هم خورده و بازده نرم سازی خاک در (جدول ۱) ارایه گردیده است.

مقاومت کششی

نتایج نشان می‌دهد که اثرات عوامل نسبت d/w و پهنای تیغه هر دو بر مقاومت کششی تیغه‌های باریک معنی دار است. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن (جدول۲) نشان می‌دهد که در هرپهنای تیغه، با افزایش نسبت d/w نیروی مقاومت کششی بطورمعنی دار افزایش می‌یابد. بدیهی است با افزایش نسبت d/w در هر پهنای تیغه، عمق کار افزایش می‌یابد و این افزایش عمق باعث افزایش سطح گسیختگی و حجم خاک به‌هم خورده و جابجا شده گردید، و در پی آن نیروی مقاومت کششی افزایش می‌یابد. پرومپرال و همکاران (۱۰) در طی تحقیقات خود مقادیر واقعی مقاومت کششی ادوات باریک را با مدل‌های رایج مقایسه نمودند و نشان دادند که در همه مدل‌ها و آزمون واقعی با افزایش عمق کار نیروی مقاومت کششی افزایش می‌یابد. همچنین بررسی میانگین‌های مربوط به پهناهای مختلف تیغه در هر سطح از نسبت d/w نشان می‌دهد که با افزایش پهنای تیغه نیروی مقاومت کششی افزایش می‌یابد و این تأثیرات با احتمال ۹۹درصد معنی دار شده است. این یافته نیز با نتایج حاصل از تحقیقات پرومپرال و همکاران (۱۰) همخوانی دارد. همچنین

1 - Cone index

(جدول ۱) نشان میدهد که اثرات متقابل d/w و پهنای تیغه نیز معنی دار شده است و به این معنی است که تأثیر d/w بر نیروی کشش مستقل از پهنای تیغه نمی‌باشد. مقایسه مقادیر میانگین مقاومت کششی در سطوح مختلف پهنای تیغه (جدول۲) نشان می‌دهد که شدت افزایش مقاومت کششی با افزایش نسبت d/w در پهنای تیغه ۷/۵ سانتی متر شدیدتر از دو سطح دیگر پهنای تیغه یعنی ۲/۵ و ۵ سانتی متر می‌باشد. این پدیده در تغییر d/w از ۴ به ۵ مشهودتر می‌باشد، به‌طوری‌که در تیغه‌های با پهنای ۲/۵ و ۵ سانتیمتر افزایش مقاومت کششی به ترتیب در حدود ۲۵ و ۳۲ درصد است ولی در تیغه با پهنای ۷/۵ سانتیمتر افزایش مقاومت کششی ۹۲ درصد است. این افزایش شدید را می‌توان ناشی از کار تیغه در ناحیه عمق بحرانی دانست.

(جدول ۱) – میانگین مربعات آثار اصلی و متقابل نسبت d/w (فاکتور A) و پهنای تیغه (فاکتورB) بر مقاومت کششی، سطح مقطع خاک به‌هم خورده و بازده نر سازی خاک.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		مقاومت کششی	سطح مقطع خاک بر هم خورده	بازده نرم سازی خاک
تکرار	۲	۸/۹۲ ns	۵/۷۷ ns	۰/۰۰۳ns
فاکتورA	۳	۵۴۴۹/۹۷ **	۱۹۸۹۶۷/۳۷**	۰/ ۷۹۷ **
فاکتورB	۳	۱۰۲۲۹۳/۰۶**	۶۴۲۹۰۳/۴۷**	۲/۵۹۷**
اثر متقابل (A×B)	۶	۲۲۱۱۵/۳۶**	۳۱۵۲۲/۳۳**	۰ /۷۹۷ **

ns. عدم وجود اختلاف معنی دار

**. وجود اختلاف معنی دار به احتمال ۹۹درصد

(جدول۲) – مقایسه میانگین‌های مقاومت کششی(N) در سطوح مختلف نسبت d/wو پهنای تیغه.

نسبتd/w ◄ پهنای تیغه▼	۲	۳	۴	۵	میانگین $\overline{X}$
۲/۵	۴۷۰/۴ ^{k}	۵۴۲/۲۳ ^{j}	۶۲۴/۵۵ ^{i}	۷۸۰/۷۶ ^{h}	۶۰۴/۴۶ ^{A} *
۵	۸۷۰/۵۳ ^{g}	۱۲۷۷/۹۲ ^{e}	۱۵۴۵/۴۶ ^{d}	۲۰۵۵/۰۶ ^{c}	۱۴۷۶/۸۶ ^{B}
۷/۵	۱۰۲۹/۹۸ ^{f}	۱۵۱۸/۰۲ ^{d}	۲۴۷۳/۵۲ ^{b}	۴۷۶۲/۸۰ ^{a}	۲۴۱۳/۷۴ ^{C}
میانگین $\overline{X}$	۷۹۰/۱۷۴ ^{A}	۱۱۱۳/۲۸ ^{B}	۱۵۴۷/۴۲ ^{C}	۲۵۴۳/۱۰ ^{D}	

میانگین‌های $\overline{X}$ که در هر ستون ویا ردیف دارای حروف بزرگ غیر مشترک می‌باشند از لحاظ آماری در سطح ۱درصد دارای اختلاف می‌باشند.
میانگین‌هایی که در هر ستون ویا ردیف دارای حروف کوچک غیر مشترک می‌باشند از لحاظ آماری در سطح ۱درصد دارای اختلاف می‌باشند.

سطح مقطع خاک به‌هم خورده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول۱) حاکی از معنی دار بودن اثرات مستقل و متقابل نسبت d/w و پهنای تیغه‌های باریک بر سطح مقطع خاک به‌هم خورده می‌باشد. با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول۳) در سطوح مختلف نسبت d/wمشخص می‌شود که با افزایش نسبت d/w سطح مقطع خاک به‌هم خورده افزایش می‌یابد و این تغییرات به احتمال ۹۹درصد معنی دار است.

مک کایز و مسوارب (۷) گزارش نمودند که با افزایش پهنا و عمق کار تیغه‌های باریک سطح خاک گسیخته شده افزایش می‌یابد. با توجه به جدول(۳) در نسبت d/w برابر ۵ حداکثر مساحت سطح گسیخته شده واقع شده است و با کاهش این نسبت سطح مقطع نیز کاهش می‌یابد.

پرومپرال و همکاران (۱۰) به بررسی و مقایسه مدل‌های موجود پرداختند. مدل‌ها و مقادیر واقعی همگی نشان دهنده افزایش سطح مقطع گسیختگی خاک با افزایش پهنای تیغه می‌باشد. مقایسه میانگین‌های سطوح خاک به‌هم خورده در سطوح مختلف نسبت d/w حاکی از افزایش معنی دار سطح مقطع خاک به‌هم خورده با افزایش پهنای تیغه می‌باشد.

نکته مهم در این ازمایش‌ها فرم شکست خاک به وسیله تیغه‌های باریک می‌باشد. در شکل‌های ۳ تا ۵ به ترتیب فرم شکست در بالاتر از عمق بحرانی، در آستانه عمق بحرانی و زیر عمق بحرانی مشاهده می‌شود. فرم شکست خاک در بالاتر از عمق بحرانی به گونه‌ای است که خاک به سه جهت بالا، جلو و کناره‌ها حرکت نموده و در نتیجه سطح مقطع خاک به‌هم خورده به مراتب وسیع تر از سطح درگیر با خاک تیغه است (حاصل‌ضرب d در w). همچنین پهنای سطح مقطع خاک به‌هم خورده در عمقی که انتهای تیغه عمل می‌نماید به مراتب بزرگتر از پهنای تیغه می‌باشد. به‌طوری‌که در (شکل ۳) می‌توان مشاهده نمود تیغه با پهنای ۲/۵ سانتیمتر در عمق کار ۵ سانتیمتر خاک را تاحدود ۲/۵ برابر عرض خود نرم سازی نموده است. هنگامی که تیغه در آستانه عمق بحرانی کار می‌کند شیب انحنای پروفیل شکست در قسمت‌های میانی به سمت پایین بیشتر می‌شود و عرض سطح مقطع خاک به‌هم خورده رو به کاهش می‌گذارد. در (شکل ۴) که تیغه در آستانه عمق بحرانی است پهنای سطح مقطع خاک به‌هم خورده در عمقی که انتهای تیغه عمل می‌نماید (۷/۵ سانتیمتر) کمتر از دو برابر عرض تیغه است. هنگامی که تیغه باریک در عمقی پایین‌تر از عمق بحرانی کار می‌کند در اثر وزن زیاد خاک، تیغه قادر به جابه‌جایی خاک به سمت بالا نیست و در نتیجه خاک به کناره‌ها فشرده می‌شود و لذا درقسمت پایین پروفیل شکست خاک، شیار باریکی با پهنایی در حدود پهنای تیغه به وجود می‌آید (شکل۵). این در حالی است که زمانی که تیغه در عمقی کمتر از عمق بحرانی حرکت می‌کند پهنای سطح به‌هم خورده در کف شیار بسیار بزرگتر از پهنای تیغه است (شکل۳).

بازده نرم سازی خاک

تجزیه واریانس اثرات مستقل و متقابل نسبت d/w و پهنای تیغه‌های باریک بر بازده نرم سازی خاک که در (جدول ۱) ارایه گردیده است حاکی از معنی دار بودن این اثرات می‌باشد. **مک کایز و مسوارب (۸)** آزمایش‌هایی بر روی تیغه‌هائی با زوایای مختلف و پهنای مختلف و در چندین عمق انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که حداکثر بازدهی گسیختگی در نسبت d/w بیشتر از ۲ اتفاق می‌افتد (۶). در این تحقیق نیز در هر سه تیغه تا زمانی که در بالای عمق بحرانی کار می‌کنند کمترین بازده متعلق به نسبت d/w برابر با ۲ است. مقایسه میانگین بازده نرم سازی خاک برای هر یک از تیغه‌ها که در (جدول ۴) ارایه گردیده است نشان می‌دهد که تیغه با پهنای ۲/۵ سانتیمتر در نسبت d/w برابر با ۵ به حداکثر بازده میرسد در حالی که در مورد تیغه‌های با پهنای ۵ و ۷/۵ سانتیمتری حداکثر بازده به ترتیب در نسبت d/w برابر با ۴ و ۳ واقع می‌گردد. به این معنی که تیغه‌های با پهنای بزرگ تر در نسبت پایین تری از نسبت d/w به حداکثر بازده نرم سازی می‌رسند. علت این اختلاف را می‌توان این گونه توجیه نمود که هر چه پهنای تیغه بیشتر باشد افزایش نسبتd/w باعث افزایش بیشتر عمق کار این تیغه نسبت به تیغه‌های با پهنای کمتر می‌شود و به دلیل افزایش وزن خاک در بالای تیغه نیروی مقاومت کششی شدیدا افزایش می‌یابد در حالی‌که سطح مقطع خاک به‌هم

خورده با این نسبت افزایش نمی‌یابد و این امر باعث کاهش بازده نرم سازی در این تیغه‌ها در نسبت‌های بالای d/w می‌شود. پلاس و همکاران (۱۱) در آزمایش‌های خود بهترین بازده نرم سازی خاک را در نسبت‌های ۳ و بالاتر به‌دست آوردند (۱۱).

(جدول۳) - مقایسه میانگین سطح مقطع خاک به‌هم خورده(cm^2) در سطوح مختلف نسبت d/w و پهنای تیغه.

نسبت d/w ◄ / پهنای تیغه ▼	۲	۳	۴	۵	میانگین $\overline{X}$
۲/۵	۶۴/۹ ^{k}	۱۰۳/۰۰ ^{j}	۱۲۱/۱ ^{i}	۱۹۴/۷ ^{h}	۱۲۰/۹ ^{A}
۵	۱۱۶/۶ ^{i}	۲۴۶/۱ ^{g}	۴۰۰/۸ ^{e}	۴۴۰/۳ ^{d}	۳۰۰/۹ ^{B}
۷/۵	۲۵۶/۲ ^{f}	۵۵۴/۴ ^{c}	۶۵۵/۷ ^{b}	۸۵۴/۸ ^{a}	۵۸۰/۳ ^{C}
میانگین $\overline{X}$	۱۴۵/۹ ^{D}	۳۰۱/۱ ^{C}	۳۹۲/۵ ^{B}	۴۹۶/۶ ^{A}	

میانگین‌های $\overline{X}$ که در هر ستون یا ردیف دارای حروف بزرگ غیر مشترک می‌باشند از لحاظ آماری در سطح ۱درصد دارای اختلاف می‌باشند.
میانگین‌هائی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف کوچک غیر مشترک می‌باشند از لحاظ آماری در سطح ۱درصد دارای اختلاف می‌باشند.

نتیجه مهم دیگری که از تجزیه آماری بازده نرم سازی خاک به‌دست آمد این است که میانگین بازده نرم سازی برای تیغه‌های با پهنای بیشتر بالاتر است و این تغییرات به احتمال ۹۹درصد معنی دار است. در آزمایش‌های انجام گرفته تیغه با پهنای ۷/۵ سانتیمتر دارای میانگین بازده ۰/۲۷۵ و تیغه‌های با پهنای ۵ و ۲/۵ سانتیمتر به ترتیب دارای میانگین بازده ۱۹۴ /۰ و ۰/۱۹۲ می‌باشند. این پدیده می‌تواند به این علت باشد که با افزایش پهنای تیغه سهم بزرگتری از خاک گسیخته شده به سمت بالا حرکت می‌کند و حرکت خاک در این راستا با مقاومت کمتری همراه است. این پدیده باعث افزایش سطح مقطع خاک به‌هم خورده نیز می‌گردد (جدول۳) ولذا باعث افزایش بازده نرم سازی می‌شود. مک کایز و مسوارب (۸) بیان داشتند که با افزایش پهنای تیغه، بازده نرم سازی خاک افزایش می‌یابد که این موضوع در این تحقیق نیز کاملا نشان داده شده است.

(جدول ۴) - مقایسه میانگین‌های بازده نرم سازی خاک (cm^2/N) در سطوح مختلف نسبت d/w و پهنای تیغه.

نسبت d/w ◄ / پهنای تیغه ▼	۲	۳	۴	۵	میانگین $\overline{X}$
۲/۵	۰/۱۳۶ ^{h}	۰/۱۸۹ ^{f}	۰/۱۹۳ ^{f}	۰/۲۴۹ ^{d}	۰/۱۹۲ ^{C}
۵	۰/۱۱۲ ^{i}	۰/۱۹۲ ^{f}	۰/۲۵۹ ^{c}	۰/۲۱۴ ^{e}	۰/۱۹۴ ^{B}
۷/۵	۰/۲۹۴ ^{b}	۰/۳۶۵ ^{a}	۰/۲۶۵ ^{c}	۰/۱۷۸ ^{g}	۰/۲۷۵ ^{A}
میانگین $\overline{X}$	۰/۱۸۰ ^{D}	۰/۲۴۹ ^{A}	۰/۲۳۹ ^{B}	۰/۲۱۴ ^{C}	

میانگین‌های $\overline{X}$ که در هر ستون یا ردیف دارای حروف بزرگ غیرمشترک می‌باشند از لحاظ آماری در سطح ۱درصد دارای اختلاف می‌باشند.
میانگین‌هائی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف کوچک غیر مشترک می‌باشند از لحاظ آماری در سطح ۱درصد دارای اختلاف می‌باشند.

نتایج

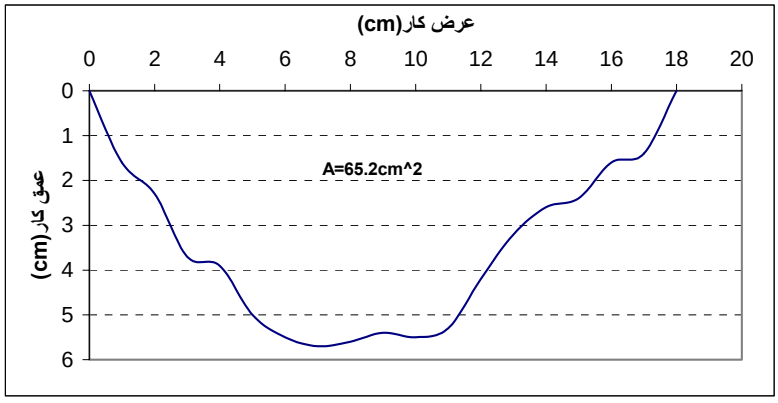
نتایج حاصل از اجرای این تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

۱- با افزایش نسبت d/w مقاومت کششی و سطح مقطع خاک به‌هم خورده (گسیخته شده) هر دو افزایش می‌یابد، لیکن تأثیر d/w بر مقاومت کششی مستقل از پهنای تیغه نمی باشد. به طوری که با تغییر d/w از ۴ به ۵، در تیغه‌های با پهنای ۲/۵ و ۵ سانتی متر افزایش مقاومت کششی به ترتیب ۲۵ و ۳۳ درصد بود ولی در تیغه‌های با پهنای ۷/۵ سانتی متر این افزایش به ۹۲ درصد رسید. این افزایش شدید را می‌توان ناشی از کار تیغه در عمق بحرانی دانست.

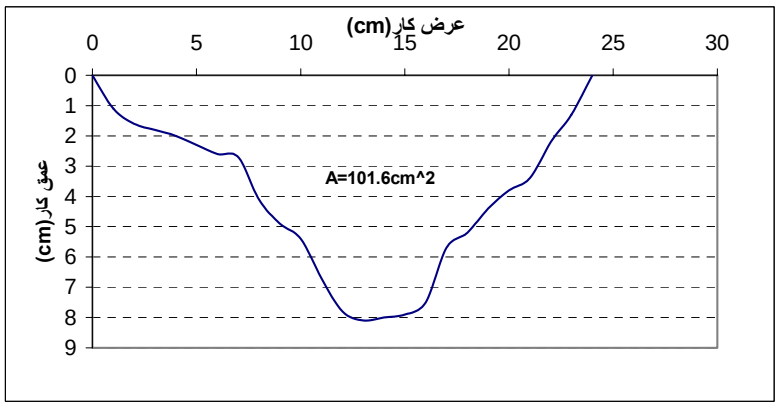
۲- نسبت سطح مقطع خاک به‌هم خورده به سطح درگیر با خاک تیغه (d × w) به هنگام کار در بالاتر از عمق بحرانی به مراتب بزرگتر از این نسبت به هنگام کار در زیر عمق بحرانی است.

۳- پهنای سطح مقطع خاک به‌هم خورده در کف شیار در ناحیه عمق بحرانی تقریبا برابر با پهنای تیغه و زمانی که تیغه در بالای عمق بحرانی کار می‌کند بسیار بزرگتر از پهنای تیغه است.

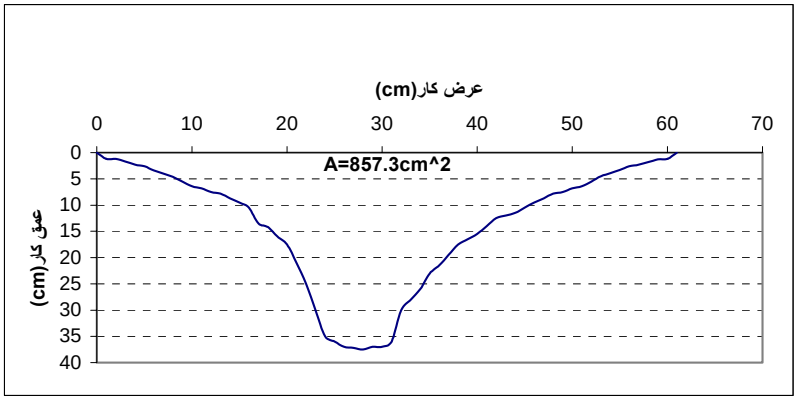
۴- تیغه‌های با پهنای بزرگتر در هر یک از سطوح d/w دارای بازده نرم سازی بزرگتری می‌باشند. به عبارتی دیگر، تیغه‌های با پهنای بزرگتر در نسبت d/w پایین تری به حداکثر بازده نرم سازی می‌رسند.



(شکل۳) - سطح مقطع خاک به‌هم خورده(w=2.5,d/w=2) (بالاتر از عمق بحرانی)



(شکل۴) - سطح مقطع خاک به‌هم خورده(w=2.5,d/w=3).(در آستانه عمق بحرانی)



(شکل۵) – سطح مقطع خاک به‌هم خورده(w=7.5,d/w=5).(پائین‌تراز عمق بحرانی)

منابع

۱- شفیعی، س. ا. ۱۳۷۴. ماشینهای خاک‌ورزی. انتشارات دانشگاه تهران،۲۱۵ صفحه.

۲- جعفری، ر. ۱۳۸۱. بررسی تأثیر زاویه حمله تیغه‌های باریک خاک ورز بربازده برهم خوردگی خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شیراز.

۳- لغوی ، م. ۱۳۷۷ . سنجش و آشکارسازی خواص فیزیکی خاک و کاربرد آن در توسعه مدیریت خاکهای زراعی. پروژه ملی شماره ۵۱۱ . بخش ماشینهای کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

4- Gill, W. R. , and G. E. Vandenberg. 1960. Soil dynamic in tillage and traction. Agricultural Engineering. 41(6) :372-374,381.

5- Gowdin, R. J. , and G. Spoor. 1977. Soil failure with narrow tine. J. Agric. Eng. Res. 22(4):213-228.

6- Mckyes, E. 1985. Soil Cutting and Tillage. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. 217p.

7- Mckyes, E. , and O. S. Ali. 1977. The cutting of soil by narrow blades. Journal of Terramechanics. 14(2): 43-58.

8- Mckyes , E. , and J. Maswaureb. 1997. Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of a clay soil. Soil & Tillage Research. 43(3-4): 197-206.

9- Payne, P. C. J. 1956. The relationship between the mechanical properties of soil and the performance of simple cultivation impelements. J. Agric. Eng. Res. 4:312-325.

10- Perumpral, J. V. , R. D. Grisso. , and C.S. Desai. 1983. A soil-tool model based on limit equilibrium analysis. Trans. of the ASAE. 26(4):991-995.

11- Plasse, R. , G. S.V. Raghavan. , and E. Mckyes. 1985. Simulation of narrow blade performance in different soils. Trans. of the ASAE. 28(4) : 1007-1012.

12- Spoor, G. and R. J. Godwin. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. J. Agr. Eng. Res. 23: 243-258.

The Effect of aspect ratio (d/w) of narrow tillage tools on draft, soil disturbed area and soil loosening efficiency

M. Loghavi[*] - H. Azizi Aliabadi[1]

Abstract

Narrow tines are among the most important tillage tools, which are used in chisel plows, cultivators and subsoilers. The draft of these blades is highly dependent on their geometric shape and working depth. The most important geometric specifications of these blades are their aspect ratio (depth/width ratio) and rake angle. Researchers' efforts have been aimed at minimizing energy consumption and maximizing soil-loosening efficiency in using these types of blades. The objective of conducting this research was to investigate the effect of narrow tine aspect ratio on draft force; soil disturbed area and loosening efficiency. The tests were conducted in the soil-bin facilities of the Agricultural Machinery Department at Shiraz University. The experiment was conducted using a complete randomized block design with factorial arrangement in three replications. The tools had the same rake angle (30 degree) with four aspect ratios (2, 3, 4 and 5) and three blade widths (2.5, 5 and 7.5 cm). Draft force was measured by a recording load cell, and the soil-disturbed area was measured by using a profilemeter and developed by using Curve Expert and Matlab Ver. 5.6 softwares. The soil loosening efficiency was calculated by dividing the soil disturbed area by the draft force. The results showed that the effect of aspect ratio (d/w) on draft force was highly significant ($p<0.01$). The highest draft force for all blades was obtained at the aspect ratio of 5. The interactive effect of blade width and aspect ratio on draft force variations was also significant. The mean draft force at similar aspect ratios increased as the tool width was increased. The results also showed that the effect of blade aspect ratio on soil-disturbed area was highly significant. The soil-disturbed area increased with increasing the aspect ratio. The interactive effect of blade width and its aspect ratio on soil-disturbed area was significant, indicating that the effect of aspect ratio on soil-disturbed area depended on blade width. At similar aspect ratio, the disturbed area increased with increasing the blade width. In addition, the effect of aspect ratio on soil loosening efficiency was highly significant ($p<0.01$). The 7.5 cm wide blade had the highest efficiency at the aspect ratio of three, while for the 5 cm and 2.5 cm wide blades the highest efficiency was achieved at aspect ratios of 4 and 5, respectively. The highest and the lowest loosening efficiencies were obtained at aspect ratios of 3 and 2, respectively. Therefore, it is suggested that the narrow tillage tools be used at aspect ratio of 3 or higher. Statistical analysis showed significant interactive effect of aspect ratio and blade width ($p<0.01$) on soil loosening efficiency. Soil loosening efficiency had the highest and the lowest values at blade widths of 7.5 cm and 2.5 cm, respectively, indicating that the soil loosening efficiency was higher in wider blades.

Key words: Narrow tillage tools, Draft, soil disturbed area, Soil loosening, Critical depth, Aspect ratio.

* - Corresponding author Email: loghari@shiraz u.ac.ir
1 - Contribution from College of Agricultvre University Iran