

بررسی عوامل مؤثر بر مقاومت کششی یک زیرشکن با بازوی خمیده و پیش‌بینی مقاومت کششی موردنیاز با استفاده از مدل رگرسیونی چندمتغیره

یوسف عباسپور گیلاتنده^۱، علی اصغر خلیفه^۲ و شعبان قوامی جولندان^۳

- ۱- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
- ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
- ۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۰۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۰۳/۱۱	مقاومت کششی ابزارهای مختلف خاک‌ورزی یک پارامتر مهم برای اندازه‌گیری و ارزیابی عملکرد ادوات و تعیین مقدار توان موردنیاز می‌باشد. در این تحقیق آزمایش‌های مزرعه‌ای در دو نوع خاک لومی‌شنی و شن‌لومی در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی (RCBD) و با چهار تکرار، به‌منظور مقایسه آماری مقادیر مقاومت کششی زیرشکن با بازوی خمیده تحت تاثیر پارامترهای مختلف انجام گردید. در داخل هر بافت خاک، محتوی رطوبت خاک در دو سطح مختلف، سرعت پیشروی تراکتور در چهار سطح ۱، ۱/۵، ۱/۸ و ۳ کیلومتر بر ساعت و عمق کاری در چهار سطح ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر انتخاب گردید. در داخل هر کرت آزمایشی پارامترهای مقاومت کششی، شاخص مخروط خاک و درصد محتوای رطوبت خاک اندازه‌گیری گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی بافت خاک، رطوبت، سرعت و عمق کار بر روی میزان مقاومت کششی زیرشکن در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. نتایج حاکی از آن بود که مقاومت کششی با افزایش سرعت پیشروی و عمق کار به‌طور معنی‌داری افزایش یافته و با افزایش محتوای رطوبت خاک کاهش می‌یافت. به‌منظور پیش‌بینی مقاومت کششی زیرشکن با بازوی خمیده، درصد محتوای رطوبت خاک، سرعت پیشروی تراکتور، عمق کار زیرشکن، درصد رس خاک و مقدار شاخص مخروط خاک به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که تمام متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده در مدل رگرسیونی، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشند. ضریب همبستگی مدل رگرسیونی چندگانه ۰/۸۴۲ و میانگین دقت پیش‌بینی مدل ۸۳/۵۷٪ به‌دست آمد.
کلمات کلیدی: مقاومت کششی، زیرشکن با بازوی خمیده، سرعت پیشروی، محتوای رطوبت خاک، عمق کار، مدل رگرسیونی	
* عهده دار مکاتبات E-mail: abbaspour@uma.ac.ir	

مقدمه

فشردگی خاک یکی از مشکلات و مسائل جدی بسیاری از خاک‌های کشاورزی در مناطق مختلف دنیا می‌باشد. وجود لایه سخت در خاک عملکرد محصول را پایین آورده و گیاه با تنش‌های محیطی مواجه می‌شود. امروزه در اکثر نقاط جهان از خاک‌ورزی با عمق یکنواخت (زیر شکنی در عمق ثابت) برای مدیریت فشردگی خاک و از بین بردن لایه سخت خاک استفاده می‌کنند (۱).

اندازه‌گیری نیروهایی که به‌منظور برش خاک در طول عملیات خاک‌ورزی لازم است، یکی از اهداف اصلی بسیاری از تحقیقات در زمینه خاک‌ورزی و دینامیک خاک می‌باشد. مؤلفه‌های افقی برش و کشش توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است. زیرا این مؤلفه‌ها ارتباط مستقیمی با احتیاجات توان موردنیاز خاک‌ورزی و نیز اندازه تراکتور موردنیاز به‌منظور کشیدن ادوات خاک‌ورزی دارند. همچنین بسیار مشاهده شده است که یکی از اهداف اصلی این مطالعات مشخص کردن و بررسی رابطه این نیروها با ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد (۴ و ۱۷).

مقاومت کششی یکی از مهم‌ترین نیروهای بین تراکتور و ادوات محسوب می‌گردد که نقش اساسی در مدیریت تراکتور و ادوات کشاورزی دارد. مقاومت کششی ابزارهای خاک‌ورزی تحت شرایط مختلف به‌طور گسترده‌ای تغییر می‌کند که از آن جمله می‌توان به نوع و شرایط خاک، سرعت شخم زدن، نوع وسیله خاک‌ورز و شکل آن، خصوصیات اصطکاکی ابزار درگیر با خاک، تیزی تیغه و شکل آن، عمق شخم و غیره اشاره کرد (۱، ۴ و ۱۷).

گزارش‌های متفاوتی از روند تغییرات مقاومت کششی با تغییر سرعت پیشروی ارائه شده است، این تغییرات ناشی از شرایط مختلف خاک و نوع وسیله

خاک‌ورز بوده است. اون^۱ افزایش مقاومت کششی ادوات خاک‌ورز را تابعی درجه دوم از افزایش سرعت پیشروی گزارش کرد (۱۵).

زاویه حمله خاک‌ورز یکی دیگر از عوامل مؤثر بر مقاومت کششی ادوات خاک‌ورز به حساب می‌آید. تحقیقات نشان داده است که هر چه زاویه حمله یا نفوذ ادوات خاک‌ورزی بزرگتر باشد، نفوذ وسیله به داخل خاک راحت‌تر صورت گرفته و با افزایش مؤلفه عمودی نیروی واکنش خاک به تیغه و در نتیجه افزایش نیروی اصطکاک، مقاومت کششی نیز افزایش می‌یابد (۷).

طی تحقیقی که توسط مک‌کایز و علی^۲ انجام گرفت مقاومت کششی پیش‌بینی شده برای چهار مدل، در پنج زاویه حمله^۳ ($90^\circ - 30^\circ$)، سه عمق (۵۰-۱۵۰ میلی متر) و سه عرض (۱۰۰-۲۵ میلی متر) انجام شد. نیروها با مقادیر اندازه‌گیری شده برای دو شرایط خاک مقایسه شدند که نتایج قابل قبولی را با نتایج آزمایشی نشان دادند و هیچ اختلاف معنی‌داری بین نیروهای پیش‌بینی شده برای مدل‌های مختلف در بیشتر موارد وجود نداشت (۱۳).

مک‌کایز و علی فرض کردند که سطح شکست خاک از نوک ابزار تا سطح خاک به صورت خطی است. آنها نیروهای فعال را در قسمت هلالی محاسبه کردند اما اثر چسبندگی را مدنظر قرار ندادند (۱۳). پرومپرال^۴ و همکاران (۱۶) یک سیستم نیروی فعال را در قسمت صاف مرکزی تیغه محاسبه کردند. آنها همچنین زاویه سایش خاک و فلز (δ) را به عنوان تابعی از زاویه حمله تیغه (α) برای $\alpha \geq 61^\circ$ تشریح کردند. در نهایت مدل معمول گادوین و اسپور^۵ برای مقایسه نیرو استفاده شد (۷ و ۱۶).

1- Owen
2- Mckyes and Ali
3- Rake angle
4- Perumpral
5- Godwin and Spoor

محتوای رطوبت خاک عامل مهم دیگری است که در مقاومت کششی ابزارهای خاک‌ورزی نقشی اساسی دارد. تاثیر محتوای رطوبت خاک در آسیب‌رسانی به خاک بیشتر از تاثیر عواملی همچون وزن تراکتور، اندازه چرخ‌ها یا فشار باد چرخ‌ها است. حتی با تغییر حدود ۲ یا ۳ درصد در میزان رطوبت خاک ممکن است صدمات شدیدی به خاک وارد شود. بنابراین مدیریت روزانه عملیات خاک‌ورزی، و انتخاب مناسب ادوات ضروری می‌باشد. گیل و واندربرگ^۴ (۸) در آزمون‌های مخزن خاک USDA در خاک‌های لومی شنی نشان دادند که افزایش محتوای رطوبت از ۹ درصد تا ۱۱/۷ درصد، باعث افزایش مقاومت ویژه خاک به میزان از ۱۵ تا ۳۵ درصد می‌شود. مؤذن و رامن^۵ (۱۴) گزارش کردند که مقاومت کششی یک زیر شکن با محتوای رطوبت به طور خطی تغییر می‌کند در حالی که مقاومت کششی تابع درجه دومی از جرم مخصوص ظاهری خاک بر پایه تر و تابع درجه سومی از جرم مخصوص ظاهری خاک بر پایه خشک بود.

تحقیق دیگری توسط اشرفی‌زاده و کوشواها^۶ (۲) برای مشخص کردن اجزای مصرف کننده توان و پیش‌بینی توان مصرفی یک ابزار باریک عمودی در سرعت‌های بالا در یک مخزن خاک انجام شده است. چهار جزء اصلی مصرف کننده توان عبارت بودند از: توان لازم در ارتباط با عکس العمل خاک- ابزار، توان لازم در ارتباط با عکس العمل جرم خاک ثابت و شخم خورده، توان لازم در ارتباط با تغییر شکل خاک و انرژی لازم در ارتباط با شتاب خاک شخم خورده. تأثیر سه متغیر محتوای رطوبت، عمق کار و سرعت پیشروی در مقادیر مختلف بررسی شد. ضرایب همه معادلات یک رابطه درجه اول بین رطوبت و اجزاء مصرف کننده توان نشان داد. برای جزء شتاب، رابطه توان- عمق منجر به

تحقیق دیگری توسط گادوین واسپور (۷) در خاک لومی شنی در دو خاک سست و سفت انجام شد. این آزمایش در سرعت ۰/۵۶ متر بر ثانیه انجام شد و نیروهای افقی و عمودی به وسیله یک مبدل رینگی نیرو با ساختار هشت وجهی که توسط گادوین طراحی شده بود، اندازه‌گیری شد و نتایجی که در خاک‌های فشرده شده برای زاویه حمله تیغه از ۴۵° تا ۹۵° در عمق معادل ۲۱۵ میلی‌متر و عرض تیغه ۵۰ میلی‌متر به دست آمد، نشان داد که نیروهای اندازه‌گیری شده در خاک فشرده ۱۰ برابر بیشتر از نیروهای اندازه‌گیری شده در خاک سست است. در تحقیقی که توسط گریسو^۱ و همکاران (۹) انجام شد آنها مقاومت کششی پیش‌بینی شده توسط چهار مدل ریاضی را با نتایج آزمایشی مقایسه کردند. مدل‌های مقایسه شده مربوط به هیتاراتچی و همکاران^۲، گادوین و اسپور، مک کایز و علی بودند. حد مقایسه برای زاویه حمله تیغه بین ۰° تا ۹۰° و برای عمق تیغه بین سطح خاک و عمق بحرانی بود (۷، ۹، ۱۰ و ۱۳). اسحاق‌بیگی^۳ و همکاران (۵) اثر عمق و زاویه حمله در زیرشکن تیغه مورب را بر مقاومت کششی بررسی کردند. آزمایشات مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل، با سه تکرار در مزارع تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی فارس، زرقان در خاک لوم رسی با رطوبت ۱۰ درصد اجرا گردید. نتایج 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. با افزایش عمق کار، سطح مقطع بهم خورده خاک در اکثر تیمارها افزایش یافت، اما زاویه حمله تأثیری بر سطح بهم خورده خاک نداشت. با افزایش عمق کار، شاخص مخروط خاک کاهش یافت، اما افزایش زاویه حمله تأثیری در کاهش این شاخص نداشت.

4- Gill and Vanden Berg

5- Mouazen and Ramon

6- Ashrafizadeh and Kushwaha

1- Grisso

2- Hettiar

3- Esehaghbeygi

یک هرس بشقابی آفت، یک گاواهن برگردان دار و یک گاواهن بشقابی بودند. تأثیر سرعت پیشروی و عمق کار بر مقاومت کششی مورد بررسی قرار گرفت. معادلات رگرسیون عمومی برای پیش‌بینی مقاومت کششی ادوات بر اساس سرعت پیشروی و عمق کار به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که افزایش عمق کار و سرعت پیشروی مقاومت کششی را افزایش می‌دهد (۴).

یک مدل ریاضی کوچوسکی و پیوتروسکا^۳ (۱۱) برای پیش‌بینی نیروهای وارده بر ابزارهای باریک خاک-ورزی توسعه یافت که شامل هندسه واقعی بیش‌تری از گوه خاک در مقایسه با مدل‌های مکانیکی پیشین بود. مدل جدید تغییرپذیری زوایای تمایل سطح شکست زیرین در حلقه‌های کناری و نیروهای اینرسی را در نظر می‌گرفت. پیش‌بینی مقاومت کششی بر پایه یکسری از نیروهای پیچیده بود که شامل عمق بحرانی و ناحیه شکست دو بعدی همراه با نیروهای اینرسی در ناحیه سه-بعدی بود. مقادیر مجهول عمق بحرانی همراه با زاویه شکست بوسیله کمینه‌کردن کل نیروی وارده بر ابزار محاسبه می‌شد. آزمایش‌ها در مخزن خاک انجام گرفت. مقدار خطا بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده در این مدل به ۱۱/۷ درصد رسید در حالی که در مقادیر محاسبه شده از تئوری‌های مختلف مقدار خطا از ۱۷/۱ تا ۳۴/۹ درصد تغییر می‌کرد. نتیجه اصلی، پیش‌بینی دقیق مقاومت ابزار باریک توسط معرفی پارامتر تغییرپذیری زوایای تمایل سطح شکست زیرین در حلقه‌های کناری است که ناشی از انحراف ابزار از مسیر حرکت می‌باشد که در مدل‌های قبلی در نظر گرفته نشده بود.

همچنین معادله پیش‌بینی مقاومت کششی بوسیله استاندارد ASAE معرفی و برای ابزار باریک خاک‌ورزی به کار برده شد. در این معادله مقاومت کششی تابعی از پارامترهای عمق کار، عرض تیغه و سرعت پیشروی

معادله‌ای شد که جمله‌های درجه اول و درجه دوم از عمق در تمام سرعت‌ها را شامل می‌شد. هنگامی که داده‌های آزمایشی توان موردنیاز برای شتاب در سرعت های ۸، ۱۶ و ۲۴ کیلومتر در معادله رگرسیون به کار گرفته شدند، رابطه سرعت-توان موردنیاز برای شتاب منجر به روابط خطی و درجه دوم شد (۲).

شناسایی نیروهایی که طی عملیات خاک‌ورزی به ابزار وارد می‌شوند، برای طراحی ادوات امری ضروری است. تحقیقی توسط گادوین و آداگرتی^۱ (۶) برای بررسی مجموعه‌ای از مدل‌های پیش‌بینی نیروهای وارده به ادوات خاک‌ورزی از ابزار ساده باریک گرفته تا گاواهن‌های برگرداندار انجام شد. نتایج نشان داد که نیروهای افقی (کشش) و نیروهای عمودی می‌توانند به ترتیب با میانگین خطای ۳٪- و ۳۳٪+ پیش‌بینی شوند. این مدل‌ها همچنین تغییرات در کشش و هندسه ابزار را به حد کافی نشان داد.

تحقیقی توسط مانوا و آدمسون^۲ (۱۲) در مخزن خاک برای مطالعه تأثیر برخی از پارامترهای خاک مثل محتوای رطوبت و فشردگی خاک بر نیروی کششی موردنیاز ابزارهای خاک‌ورزی انجام شد. ابزارها در سه گروه ابزارهای خیلی باریک، باریک و عریض مورد استفاده قرار گرفتند. خاک مورد آزمایش لومی رسی شنی بود. پس از انجام آزمایش‌ها مشاهده شد که با کاهش محتوای رطوبت خاک، مقدار کشش بین ۱۱٪ تا ۲۲/۵٪ افزایش یافت. همچنین با افزایش تراکم خاک از شاخص مخروطی ۱۵۰ کیلوپاسکال تا ۸۰۰ کیلوپاسکال، مقاومت کششی ابزار افزایش یافت (۱۲).

مدلی توسط الجنوبی و السوهاییانی (۴) برای پیش‌بینی مقاومت کششی ادوات خاک‌ورزی اولیه استاندارد در یک خاک لومی شنی به کار گرفته شد. ادوات شامل سه گاواهن چیزل با انواع مختلف ساقه،

1- Godwin and O Dogherty

2- Manuwa and Ademsun

3- Kuczewski and Piotrowska

می‌کنند. این دینامومتر بین ابزار خاک‌ورزی و تراکتور قرار می‌گیرد.

چرخ پنجم مورد استفاده در این تحقیق که به منظور اندازه‌گیری سرعت پیشروی تراکتور مورد استفاده قرار گرفت، متشکل از یک لاستیک بادی به قطر ۳۹ سانتی‌متر می‌باشد که به راحتی روی محور خود گردش می‌کند و به کمک قطعات مختلف شاسی، در راستای حرکت چرخ جلوی تراکتور قرار می‌گیرد (شکل ۳). از یک جک مکانیکی برای بالا و پایین بردن چرخ پنجم به صورت دستی استفاده می‌شود. همچنین این چرخ مجهز به دور شمار الکتریکی مدل PR12-2DN از نوع مجاورتی القایی و ساخت شرکت اتونیکس کره است. این دور شمار دندانه‌های چرخنده نصب شده به مرکز چرخ پنجم را حس کرده و تولید پالس می‌کند. پالس‌های تولید شده توسط پالس‌متر مدل MP5W-44 ساخت شرکت اتونیکس کره، نمایش داده می‌شوند. این پالس‌متر با جریان متناوب ۲۲۰ ولت کار می‌کند. برای تامین توان مورد نیاز پالس‌متر از یک مبدل ولتاژ ۱۲ ولت DC به ۲۲۰ ولت AC مدل DXDRL1000H ساخت شرکت Doxin کشور چین استفاده شد. برق ۱۲ ولت DC نیز از طریق یک باتری اضافی تامین گشته و به مبدل منتقل می‌گردید.

آزمایش‌های مزرعه‌ای

آزمایش‌های مزرعه‌ای در پائیز سال ۱۳۹۰ در یک مزرعه آزمایشی که دارای دو نوع خاک لومی‌شنی و شن‌لومی است (جدول ۱)، انجام شد. در این تحقیق برای اندازه‌گیری و تعیین عوامل موثر بر مقدار نیروی مقاوم کششی یک زیرشکن با بازوی خمیده، مزرعه آزمایشی به کرت‌های ۴×۲۰ متر تقسیم شد و آزمایش‌های مزرعه‌ای در دو نوع خاک اجرا گردید که در داخل هر نوع خاک از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی^۱ (RCBD) و با چهار تکرار استفاده شد.

ادوات خاک‌ورز می‌باشد. این معادله در اکثر مناطق دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳).

هدف از این تحقیق بررسی عوامل مختلف بر مقاومت کششی یک زیرشکن با بازوی خمیده شامل محتوای رطوبت خاک، سرعت پیشروی تراکتور و عمق کار و همچنین ارائه یک مدل پیش‌بینی نیروی مقاوم کششی مورد نیاز با استفاده از مدل رگرسیونی چندگانه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ابزارهای اندازه‌گیری مورد استفاده در تحقیق

از یک دستگاه نفوذسنج مخروطی پشت تراکتوری سوار به منظور اندازه‌گیری مقادیر شاخص مخروطی خاک استفاده شد. دستگاه نفوذسنج به اتصال سه‌نقطه یک تراکتور مسی فرگوسن مدل MF-285 متصل شد به گونه‌ای که راننده می‌توانست نفوذسنج را به کار انداخته و کنترل نماید. این سیستم اندازه‌گیری شامل یک مخروط استاندارد، مبدل اندازه‌گیری عمق نفوذ، مبدل اندازه‌گیری نیرو و سیستم جمع‌آوری داده بود (شکل ۱). از یک تراکتور مسی فرگوسن مدل MF-285، ۷۵ اسب بخار و مجهز به سامانه اندازه‌گیری دقیق به منظور جمع‌آوری داده‌های مربوط به مقاومت کششی و سرعت پیشروی در حین عملیات خاک‌ورزی استفاده شد. سیستم اندازه‌گیری دقیق تراکتور مجهز به دینامومتر اتصال سه‌نقطه، حسگر اندازه‌گیری سرعت پیشروی از نوع چرخ پنجم و سیستم جمع‌آوری داده بود. یک رایانه کیفی متصل به دیتالاگر DT800 به منظور جمع‌آوری داده‌های اندازه‌گیری شده توسط مبدل‌های فوق‌الذکر به کار گرفته شد.

دینامومتر اتصال سه‌نقطه مورد استفاده در این تحقیق که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود قابل تنظیم بوده و دارای سه عدد مبدل رینگ‌های هشت وجهی است که هر یک از آن‌ها دارای هشت عدد کرنش‌سنج مقاوم می‌باشند و نیروهای افقی و عمودی وارد بر هر بازو را اندازه‌گیری

1- Randomized Complete Block Design

عباسپور گیلانده و همکاران: بررسی عوامل مؤثر بر مقاومت کششی...



شکل (۱) نفوذسنج مخروطی پشت تراکتوری

Figure (1) Tractor-mounted soil cone penetrometer



شکل (۲) دینامومتر اتصال سه نقطه قابل تنظیم مورد استفاده در تحقیق

Figure (2) The adjustable three-point hitch dynamometer used in this study



شکل (۳) سامانه اندازه گیری سرعت واقعی تراکتور

Figure (3) Measurement system of tractor forward speed

قبل از انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای مقادیر شاخص مخروطی در هر کرت آزمایشی اندازه‌گیری شد. در هر کرت آزمایشی مقادیر شاخص مخروطی برای ۵ نقطه بدست آمد. این مقادیر برای عمق صفر تا ۴۶ سانتی‌متری از سطح خاک و در دو شرایط رطوبتی ذکر شده در جدول ۱، بدست آمد. برای انجام این کار نفوذسنج پشت تراکتوری به تراکتور متصل گردید. بعد از اتصال سیم‌های مربوط به مبدل‌های نیرو و عمق، برنامه نوشته شده برای دیتالاگر به‌منظور بدست آوردن داده‌های نیرو و عمق اجرا گردید. راننده با استفاده از اهرم مخصوص شیرهای هیدرولیکی نصب شده در داخل کابین راننده، میله همراه با مخروط را به داخل خاک فشار می‌داد و از طریق کامپیوتر کیفی عمق مورد نظر را تنظیم می‌کرد. مقادیر شاخص مخروط خاک در هر کرت آزمایشی در چهار نقطه و در هر محل از عمق صفر تا ۴۰ سانتی‌متر با فاصله‌های یک سانتی‌متر اندازه‌گیری شد.

به‌منظور انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای اتصال دینامومتر و سیم‌های مربوط به دیتالاگر و همچنین اتصال زیرشکن به دینامومتر و انتخاب دنده و عمق مناسب انجام شد. عمق موردنظر برای زیرشکن توسط بازوهای پائینی تراکتور و چرخ‌های تثبیت عمق تنظیم شد.

در داخل هر بافت خاک، محتوی رطوبت خاک (فاکتور A) در دو سطح، سرعت پیشروی تراکتور (فاکتور B) در چهار سطح ۱، ۱/۵، ۱/۸ و ۳ کیلومتر بر ساعت، عمق کار (فاکتور C) در چهار سطح ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و در داخل هر کرت آزمایشی مقادیر مقاومت به کشش ادوات خاک‌ورز، شاخص مخروطی خاک و درصد محتوای رطوبت خاک اندازه‌گیری شد.

قبل از شروع آزمایش‌ها، مزرعه موردنظر بررسی و انتخاب شد. بعد از آن نمونه‌های خاک از هر کرت به منظور بدست آوردن بافت خاک جمع‌آوری گردید. برای اعمال شرایط مرطوب، زمین آزمایشی آبیاری شد تا رطوبت مورد نظر حاصل شود. برای جلوگیری از اشتباه راننده در انتخاب و شماره‌گذاری خطوط، در حین کار شیارها با استفاده از میخ‌های چوبی شماره‌گذاری شد.

در هر کرت آزمایشی مقادیر شاخص مخروطی برای ۵ نقطه بدست آمد. این مقادیر برای عمق صفر تا ۴۶ سانتی‌متری از سطح خاک و در دو شرایط رطوبتی ذکر شده در جدول ۱، بدست آمد.

جدول (۱) میانگین مقادیر پارامترهای خاک مورد مطالعه

Table (1) The mean values of soil parameters for the experimental field

بافت خاک (Soil Texture)	درصد شن (Percent of sand)	درصد سیلت (Percent of silt)	درصد رس (Percent of clay)	میانگین درصد رطوبت خاک بر پایه وزن خشک در عمق ۰-۳۰ cm خاک (The average of soil moisture content based on dry weight at the depth 0-30cm)
				شرایط مرطوب (Wet condition)
				شرایط خشک (Dry condition)
شنی لومی (Sandy loam)	73.5	17.5	9	19.5
لومی شن (Loamy sand)	55	23.5	11.5	15.5

و عمق کار بر میزان مقاومت کششی زیرشکن با بازوی خمیده در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است، در ضمن اثرات متقابل دوتایی بافت خاک در سرعت پیشروی و بافت خاک در عمق کاری بر مقاومت کششی نیز معنی دار می باشد (سطح احتمال ۱٪). اثرات بافت خاک در رطوبت، رطوبت در سرعت، رطوبت در عمق و سرعت در عمق بر روی میزان نیروی مقاوم کششی زیرشکن با بازوی خمیده معنی دار نبود. همچنین همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود تمام اثرات متقابل سه تایی در سطح ۱٪ معنی دار می باشد، به جز اثر محتوای رطوبت در سرعت پیشروی در عمق کار که در سطح ۵٪ معنی دار بود و اثر بافت خاک در محتوای رطوبت در عمق کار که معنی دار نبود. اثر چهار تایی هم همانطور که در جدول مشاهده می شود در سطح ۵٪ معنی دار می باشد. این نشان می دهد که باید اثر چهار عامل بافت خاک، محتوای رطوبت، سرعت پیشروی و عمق کار را در بررسی و پیش بینی مقاومت کششی در نظر گرفت.

اثر بافت خاک بر مقاومت کششی زیرشکن با بازوی خمیده

با توجه به شکل ۵ می توان نتیجه گرفت که بین مقاومت کششی در دو بافت مورد بررسی تفاوت معنی داری وجود دارد، بیشترین مقدار میانگین مقاومت کششی در بافت خاک لومی شنی (۴۵۶۲/۷۱ نیوتن) و کمترین آن در بافت خاک شنی لومی (۲۴۷۹/۱۳ نیوتن) می باشد. تفاوت در مقاومت کششی در بافت های مورد مطالعه به تفاوت در مقاومت ویژه خاک های مورد بررسی در برابر تیغه زیرشکن مربوط می گردد.

در مرحله بعد چرخ پنجم توسط راننده پایین آورده شد. بعد از اتصال سیم های دینامومتر اتصال سه نقطه و سیم های مربوط به پالس مترها به کانال های آنالوگ دیتالاگر، برنامه نوشته شده برای دیتالاگر به منظور به دست آوردن داده های مقاومت کششی و سرعت پیشروی تراکتور اجرا گردید. بعد از این فرآیند با انتخاب دنده و دور موتور که از قبل پیش بینی شده بود شروع به داده برداری و ثبت سیگنال های خروجی از مدار گردید. حرکت در طول ۲۰ متر انجام می شد و سپس در انتهای مزرعه دور زده و با فاصله یک و نیم متر از شیار قبلی آزمایش با شرایط بعدی انجام می گرفت. برای هر شرایط و نوع خاک ۶۰ شیار در داخل خاک ایجاد شد. برای اینکه شرایط هر یک از شیارها با یکدیگر متفاوت می باشد، هر شیار توسط میخ چوبی علامتگذاری شد. داده های بدست آمده در انتهای هر شیار در فایل جداگانه با فرمت .txt ذخیره می شد. شکل ۴ شکست لایه های خاک و تیغه در حال کار را نشان می دهد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده های مربوط به مقاومت کششی یک زیرشکن با بازوی خمیده در جدول ۲ آمده است. ضریب تغییرات (CV) داده های مقاومت کششی تیغه باریک خاک ورزی معادل ۱۹/۲٪ می باشد، که این میزان پراکندگی با توجه به تعداد تیمارهای مختلف و شرایط مختلف مناطق آزمایشی منطقی به نظر می رسد.

با توجه به جدول تجزیه واریانس مشاهده می شود که اثرات مستقل بافت خاک، محتوای رطوبت، سرعت پیشروی



شکل (۴) تیغه باریک مورد استفاده در تحقیق و نمایی از شکست خاک توسط تیغه

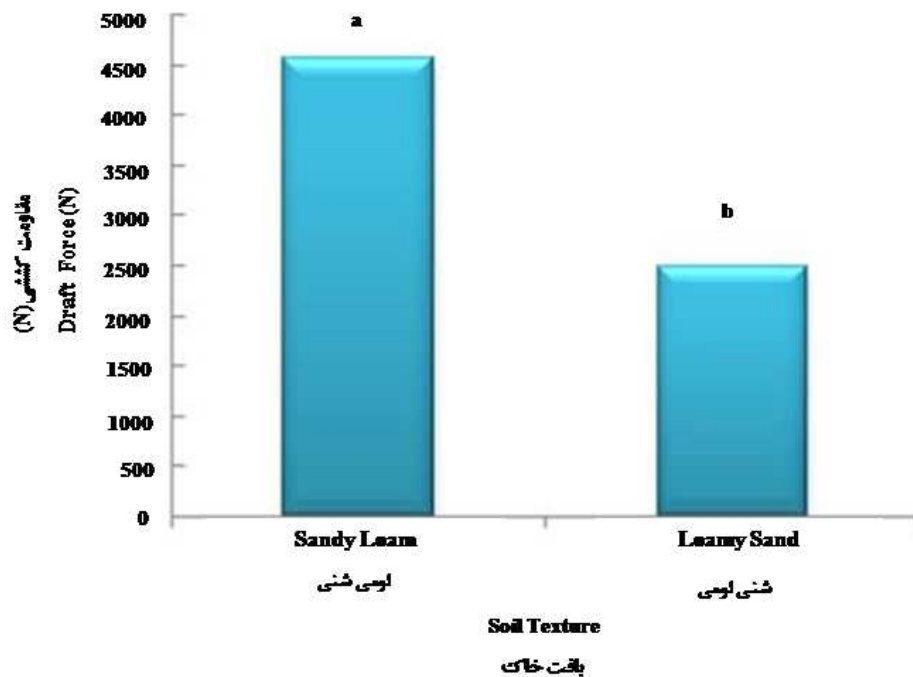
Figure (4) The narrow blade used in this research and soil failure by blade

جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اندازه‌گیری مقاومت کششی تیغه زیرشکن با بازوی خمیده
 Table (2) Results of analysis of variance of data related to the measurement of draft force of a subsoiler with a curved arm

F	میانگین مربعات (Mean Squares)	مجموع مربعات (Sum of Squares)	درجه آزادی (Degree of Freedom)	منابع تغییرات (Sources of variation)
55.75 ^{**}	25403195.1	25403195.1	3	تکرار (Replication)
609.72 ^{**}	277840962.3	277840962.3	1	بافت خاک (Soil Texture)
23.03 ^{**}	10493130.6	10493130.6	1	رطوبت (Moisture)
0.62 ^(ns)	282425.9	282425.9	1	بافت خاک × رطوبت (Soil Texture × Moisture)
32.24 ^{**}	14689346.2	44068038.7	3	سرعت پیشروی (Speed)
13.46 ^{**}	6135467.2	18406401.5	3	بافت × سرعت پیشروی (Soil Texture × Speed)
2.18 ^(ns)	3272366.2	3817098.7	3	رطوبت × سرعت پیشروی (Moisture × Speed)
6.03 ^{**}	2749242	8247726	3	بافت × رطوبت × سرعت پیشروی (Soil Texture × Moisture × Speed)
1.98 [*]	868188.5	7813696.6	9	بافت × رطوبت × سرعت پیشروی × عمق (Soil Texture × Moisture × Speed × Depth)
238 ^{**}	108451300.4	325353901.3	3	عمق (Depth)
9.54 ^{**}	4347654.6	13042963.7	3	بافت × عمق (Soil Texture × Depth)
2.38 ^(ns)	1086629.7	3259889.2	3	رطوبت × عمق (Moisture × Depth)
1.96 ^(ns)	892841.2	2678523.6	3	بافت × رطوبت × عمق (Soil Texture × Moisture × Depth)
1.29 ^(ns)	586137.8	5275240.5	3	سرعت × عمق (Speed × Depth)
4.05 ^{**}	1843594.1	16592346.6	9	بافت × سرعت × عمق (Soil Texture × Speed × Depth)
	890594.9	8015354.3	9	رطوبت × سرعت × عمق (Moisture × Speed × Depth)
	455685	86124456.2	189	خطا (Error)
3.95 [*]	-	913521741.1	255	مجموع (Total)
-				
-				

^{**} معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ^{*} معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ^{ns} عدم اثر معنی‌دار

^{**} significant at the 0.01 probability level, ^{*} significant at the 0.05 probability level, ^{ns} no significant effect



شکل (۵) اثر بافت خاک بر مقاومت کششی تیغه زیرشکن با بازوی خمیده
Figure (5) Effect of soil texture on draft force of a subsoiler with a curved arm

که از نمودار پیداست در سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت، مقاومت کششی به طور معنی داری نسبت به بقیه سرعت‌ها افزایش داشته است. نمودار نشان می‌دهد که مقاومت کششی در تمام سرعت‌ها نسبت به هم اختلاف معنی داری دارند. علت تفاوت در مقاومت کششی در سرعت‌های پیشروی مختلف می‌تواند به دلیل تفاوت در شتاب داده شده به ذرات خاک و عکس‌العمل خاک در برابر تیغه در سرعت‌های پیشروی مختلف باشد.

اثر عمق بر مقاومت کششی تیغه زیرشکن با بازوی خمیده

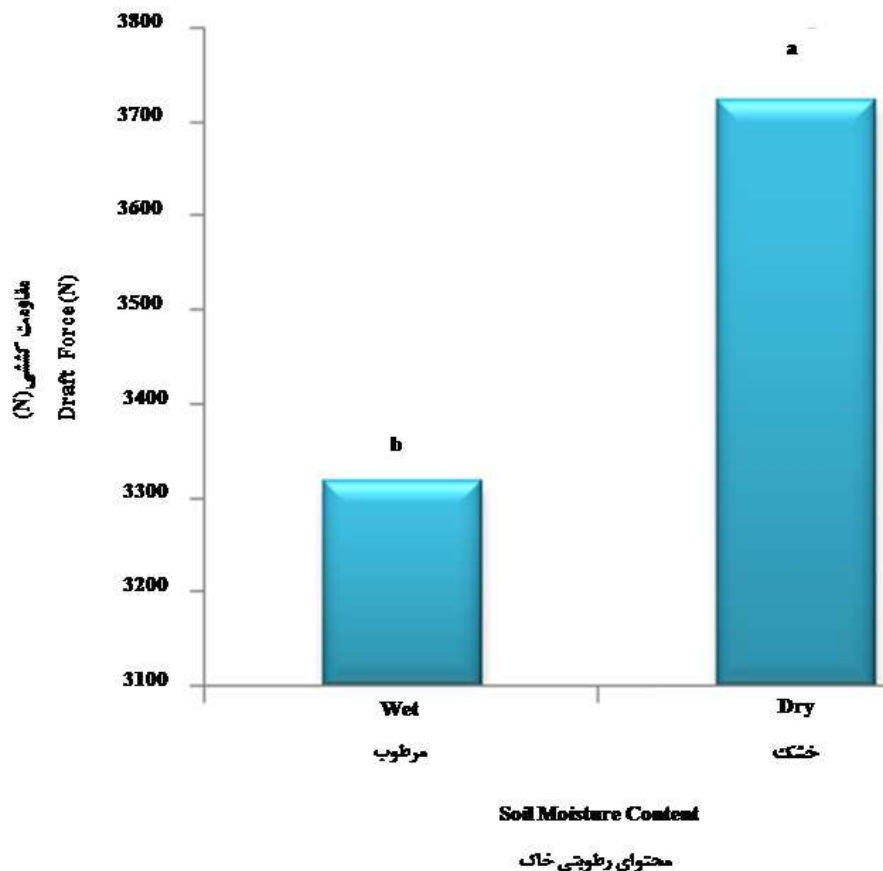
نتایج حاصل از نمودار شکل ۸ نشان می‌دهد که با افزایش عمق کار، مقاومت کششی به طور معنی داری افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار مقاومت کششی در عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متر و ۴۸۰۵/۸ نیوتن می‌باشد. همچنین کمترین مقدار مقاومت کششی در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر و برابر با ۲۰۲۱/۲ نیوتن می‌باشد. علت این افزایش به این برمی‌گردد که با افزایش عمق خاک‌ورزی اولاً نیروی مقاوم مکانیکی خاک به علت افزایش سطح تیغه درگیر

اثر رطوبت بر مقاومت کششی تیغه زیرشکن با بازوی خمیده

نمودار شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار محتوای رطوبت خاک مقاومت کششی خاک‌ورز کاهش می‌یابد. بنابراین مقدار محتوای رطوبت یک عامل مهم و اثرگذار برای مقاومت کششی می‌باشد. بیشترین مقدار مقاومت کششی برابر با ۳۷۲۳/۳۸ نیوتن و برای خاک خشک و کمترین مقدار مقاومت کششی برابر با ۳۳۱۸/۴۶ نیوتن برای خاک مرطوب می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش درصد محتوای رطوبت خاک مقادیر مقاومت کششی به طور معنی داری کاهش می‌یابد. علت این نتیجه می‌تواند به دلیل تغییر شاخص مخروطی با تغییر محتوای رطوبتی خاک باشد.

اثر سرعت پیشروی بر مقاومت کششی زیرشکن با بازوی خمیده

نمودار شکل ۷ اثر سرعت پیشروی را بر مقاومت کششی زیرشکن با بازوی خمیده نشان می‌دهد. همان‌طور



شکل (۶) اثر رطوبت بر مقاومت کششی تیغه زیرشکن با بازوی خمیده

Figure (6) Effect of soil moisture content on draft force of a subsoiler with a curved arm

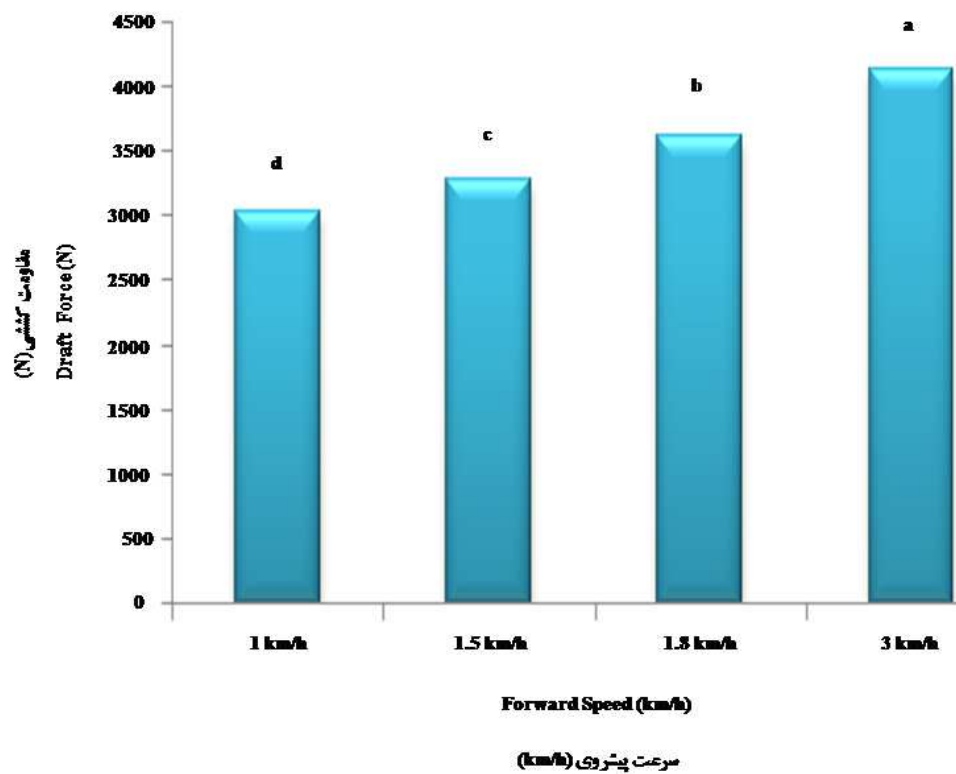
های پیشروی ۳ و ۱/۸ کیلومتر بر ساعت اختلاف معنی داری وجود ندارد. با افزایش سرعت پیشروی تا ۳ کیلومتر بر ساعت میانگین مقاومت کششی به طور معنی داری افزایش می یابد. همچنین در بافت شنی لومی نیز مانند بافت لومی شنی شاهد افزایش میانگین مقاومت کششی با افزایش سرعت پیشروی از ۱ کیلومتر بر ساعت به ۳ کیلومتر بر ساعت بودیم. بیشترین مقدار میانگین مقاومت کششی مربوط به سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت در بافت لومی شنی و کمترین مقدار آن مربوط به سرعت ۱ کیلومتر بر ساعت در بافت لومی می باشد. در ضمن، نمودار نشان می دهد بین بافت لومی شنی و شنی لومی از نظر مقاومت کششی در سرعت های مختلف پیشروی تفاوت معنی دار آماری وجود دارد، این نشان دهنده بافت سخت خاک و مقاومت مکانیکی بالای خاک در خاک لومی شنی نسبت به خاک لومی می باشد.

با خاک زیاد شده و همچنین در خاک های مورد مطالعه میزان مقاومت مکانیکی خاک (شاخص مخروط خاک) با افزایش عمق افزایش می یابد. این نتیجه با نتایج بدست آمده توسط عباسپور گیلانده، منوا و آدامسون، گادوین و آداگرسی، الجنوبی و السوهیبانی و اشرفی زاده و کوشواها مطابقت دارد (۱، ۲، ۴، ۶، ۱۲). ثانیاً به علت افزایش جرم خاکی که باید شتاب بگیرد نیروهای اینرسی افزایش یافته و عکس العمل این نیروها بر ابزار خاک ورز نیز افزایش می یابد.

اثر متقابل بافت خاک در سرعت پیشروی بر مقاومت کششی تیغه زیرشکن با بازوی خمیده

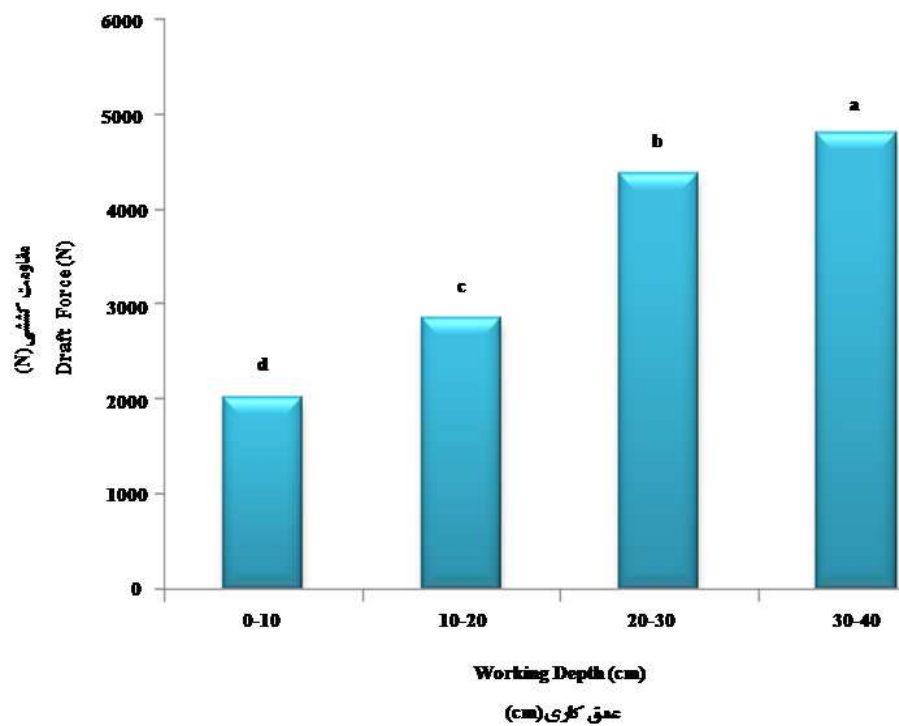
همانطور که شکل ۹ نشان می دهد در بافت لومی شنی با افزایش سرعت پیشروی از ۱ کیلومتر بر ساعت به ۳ کیلومتر بر ساعت میانگین مقاومت کششی افزایش می یابد. تنها بین سرعت های پیشروی ۱/۵ و ۱/۸ کیلومتر بر ساعت و سرعت -

عباسپور گیلانده و همکاران: بررسی عوامل مؤثر بر مقاومت کششی...



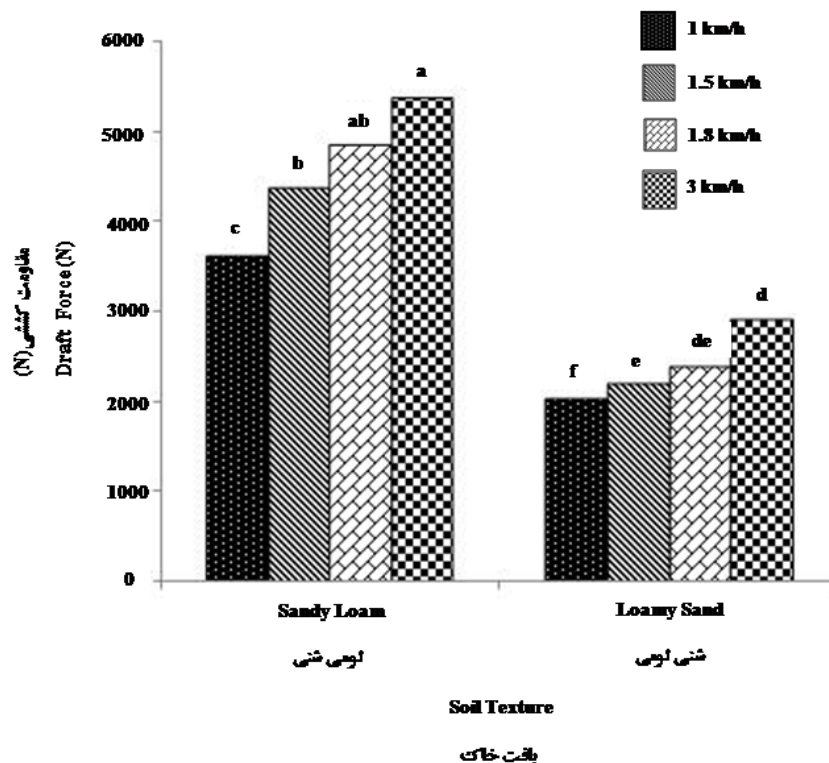
شکل (۷) اثر سرعت پیشروی بر مقاومت کششی تیغه زیرشکن با بازوی خمیده

Figure (7) Effect of Forward speed on draft force of a subsoiler with a curved arm



شکل (۸) اثر عمق بر مقاومت کششی تیغه زیرشکن با بازوی خمیده

Figure (8) Effect of working depth on draft force of a subsoiler with a curved arm



شکل (۹) اثر متقابل بافت خاک در سرعت پیشروی بر مقاومت کششی تیغه زیرشکن با بازوی خمیده
 Figure (9) The interaction effect of soil texture and forward speed on draft force of a subsoiler with a curved arm

پیش‌بینی مقاومت کششی موردنیاز با استفاده از مدل رگرسیونی چندگانه

در این تحقیق به منظور پیش‌بینی نیروی مقاوم کششی یک زیرشکن با بازوی خمیده از مدل رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. در این پیش‌بینی درصد محتوای رطوبت خاک، سرعت پیشروی تراکتور، عمق کار زیرشکن، درصد رس خاک و مقدار شاخص مخروط خاک به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. معادله (۱) مدل پیش‌بینی مقاومت کششی به دست آمده در این تحقیق را ارائه می‌کند.

$$F = 3.933 (MC) + 1.147 (V) + 8.233 (D) + 0.136 (Clay) + 0.240 (CI) - 2 \quad (1)$$

که در این رابطه:

F: نیروی مقاوم کششی (kN)

MC: محتوای رطوبتی خاک (%)

اثر متقابل بافت خاک در عمق خاک‌ورزی بر مقاومت کششی تیغه زیرشکن با بازوی خمیده

همان‌طور که از شکل ۱۰ مشخص است با افزایش عمق کار در سه عمق اول (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) در بافت خاک لومی‌شنی مقاومت کششی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. ولی بین عمق‌های ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر اثر معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین در بافت شن‌لومی در عمق‌های صفر تا ۴۰ سانتی‌متر مقاومت کششی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. علت این نتایج ناشی از آن است که با افزایش عمق کار مقاومت مکانیکی خاک افزایش می‌یابد. کمترین مقاومت کششی برابر با ۱۰۴۱/۳ نیوتن و در بافت شن‌لومی و در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. همچنین بیشترین مقاومت کششی در بافت لومی‌شنی و در عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر برابر با ۵۷۹۸/۵ نیوتن می‌باشد.

عباسپور گیلانده و همکاران: بررسی عوامل مؤثر بر مقاومت کششی...

نیروی کششی برحسب نیوتن، S سرعت پیشروی بر حسب کیلومتر بر ساعت و W عرض وسیله خاک‌ورزی بر حسب متر و T عمق کار وسیله خاک‌ورزی بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. F_i شاخص (ضریب) مربوط به خاک می‌باشد که برای خاک با بافت سنگین برابر ۱، برای خاک با بافت متوسط ۰/۷۰ و برای خاک با بافت سنی ۰/۴۵ در نظر گرفته می‌شود. C, B, A ضرایب مربوط به ابزارهای خاک‌ورزی می‌باشند که برای وسیله خاک‌ورزی مورد استفاده در این تحقیق (زیرشکن) $A = 226, B = 0, C = 1.8$ در نظر گرفته شدند.

V : سرعت پیشروی (km/h)

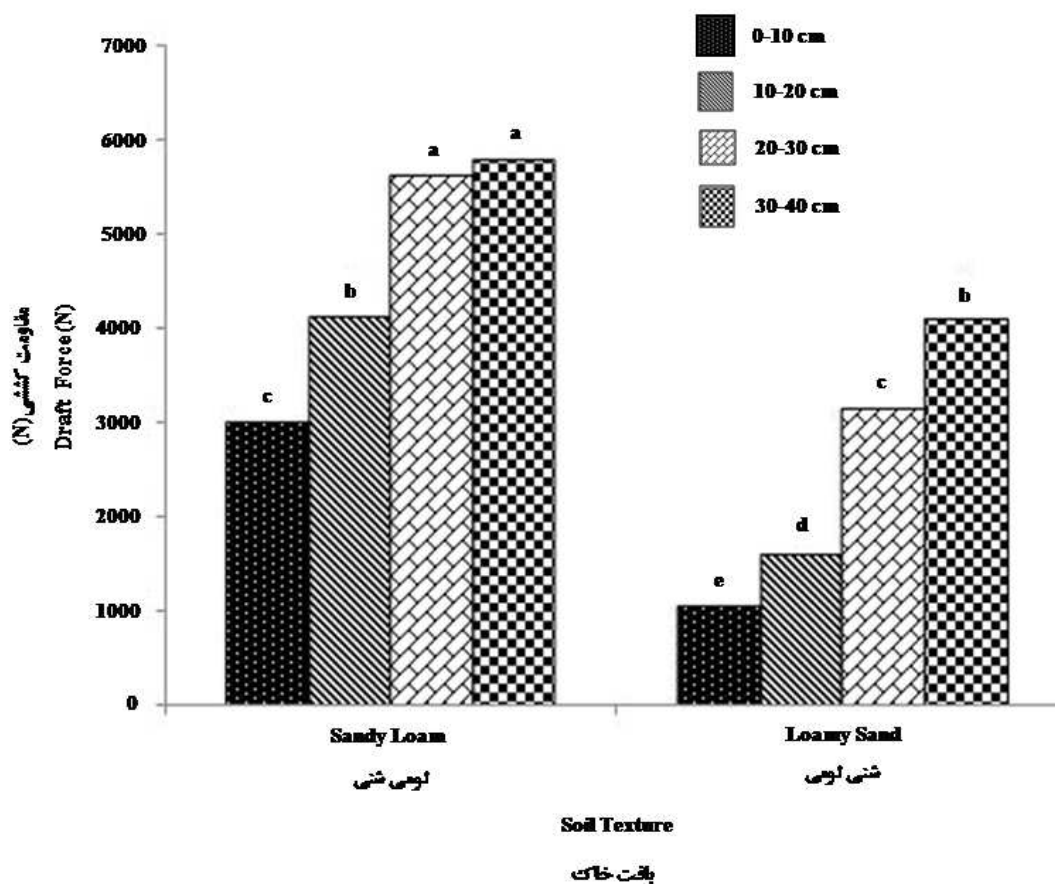
D : عمق کاری (m)

Clay: رس خاک (%)

CI: شاخص مخروط خاک (MPa)

نتایج نشان داد کلیه پارامترهای مستقل در نظر گرفته شده در مدل رگرسیونی، در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند. **مقایسه مدل رگرسیونی چندگانه با مدل ASAE به منظور پیش‌بینی مقاومت کششی**

انجمن مهندسين کشاورزي آمريکا (ASAE) مقاومت کششی ادوات خاک‌ورزی را برای سه حالت خاک؛ خاک با بافت سنگین، خاک با بافت متوسط و خاک با بافت سبک ارائه کرده است. مدل ارائه شده توسط ASAE به صورت $D = F_i[A + B(s) + C(S^2)]WT$ می‌باشد که در آن D



شکل (۱۰) اثر متقابل بافت خاک در عمق خاک‌ورزی بر مقاومت کششی تیغه زیرشکن

Figure (10) The interaction effect of soil texture and tillage depth on draft force of a subsoiler with a curved arm

بازوی خمیده در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است. با افزایش مقدار محتوای رطوبت خاک مقاومت کششی خاک ورز کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که مقاومت کششی در تمام سرعت‌ها نسبت به هم اختلاف معنی داری دارند. با افزایش عمق کار، مقاومت کششی به‌طور معنی داری افزایش یافت. بیشترین مقدار مقاومت کششی در عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متر و ۴۸۰۵/۸ نیوتن بدست آمد. همچنین در این تحقیق به‌منظور پیش‌بینی نیروی مقاوم کششی یک زیرشکن با بازوی خمیده از مدل رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. در این پیش‌بینی درصد محتوای رطوبت خاک، سرعت پیشروی تراکتور، عمق کار زیرشکن، درصد رس خاک و مقدار شاخص مخروط خاک به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. ضریب همبستگی مدل رگرسیونی چندگانه ۰/۸۴۲ و میانگین دقت پیش‌بینی مدل ۸۳/۵۷٪ به‌دست آمد.

نتایج مقایسه پیش‌بینی با استفاده از مدل رگرسیونی چندگانه با مدل ارائه شده توسط انجمن مهندسين کشاورزی آمریکا (ASAE) نشان داد که تمام داده‌های مقاومت کششی بدست آمده برای عمق‌های مختلف خاک‌ورزی (داده‌های واقعی) در محدوده اعداد بدست آمده از استاندارد ASAE (با دقت $\pm 5.0\%$) قرار گرفته است و مدل رگرسیون چندگانه داده‌های نزدیک‌تری به داده‌های واقعی نسبت به مدل ASAE ارائه کرده است. ضریب همبستگی مدل رگرسیونی چندگانه ۰/۸۴۲ و میانگین دقت پیش‌بینی مدل ۸۳/۵۷٪ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر عوامل مختلف بر مقاومت کششی یک زیرشکن با بازوی خمیده شامل محتوای رطوبت خاک، سرعت پیشروی تراکتور و عمق کار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات مستقل بافت خاک، محتوای رطوبت، سرعت پیشروی و عمق کار بر میزان مقاومت کششی زیرشکن با

منابع

1. Abbaspour-Gilandeh, Y. 2005. Continuous Energy Mapping of Tillage Systems and Modeling of the Energy Requirements by Neural Network. PhD Dissertation. Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Ashrafizadeh, S.R. and Kushwaha, R.L. 2006. Development of a tillage energy model using a simple tool. Presented at the 2006 CSBE/SCGAB Annual Conference, Paper No.06-130.
3. ASAE Standards. 2001b. ASAE EP496.2: Agricultural machinery management. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI 49085-9659, USA.27
4. Al-Janobi, A.A. and Al-Suhaibani, S.A. 1998. Draft of primary tillage implements in sandy loam soil. Transaction of the ASAE, 14(4): 343-348.
5. Esehaghbeygi, A., Tabatabaefar, A., Keyhani, A.R. and Raoufat, M.H. 2005. Depth and rake angle's influence on the draft force of an oblique blade subsoiler. Iranian Journal of Agriculture Science Journal, 36 (4): 1045-1052.
6. Godwin, R.J. and O'Dogherty, M.J. 2007 Integrated soil tillage force prediction models. Journal of Terramechanics, 44, 3-14

7. Godwin, R.J. and Spoor, G. 1977. Soil failure with narrow tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 22(4): 213-228.
8. Gill, W.R. and Vandern Berg, G.E. 1968. Soil dynamics in tillage and traction. *Agriculture Handbook No. 316. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture (USDA)*. pp.126-140.
9. Grisso, R.D., Yasin, M., and Kocher, M.F. 1996. Tillage implement forces operating in silty clay loam. *Transactions of the ASAE*, 39(6), 1977-1982.
10. Hettiaratchi, D.P., Witney, B.D., and Reece, A.R. 1966. The calculation of passive pressure in two dimensional soil failure. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 11(2): 89-107.
11. Kuczewski, L. and Piotrowska, E. 1998. An improved model for forces on narrow soil cutting tines. *Soil and Tillage Research*, 46(1998): 231-239.
12. Manuwa, S. and Ademsun, O.C. 2007. Draught and soil disturbance of model tillage tines under varying soil parameters. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*, Manuscript PM 06 016.
13. McKyes, E. and Ali, O.S. 1977. The cutting of soil by narrow blades. *Journal of Terramechanics*, 14(2): 43-58.
14. Mouazen, A.M. and Ramon, H. 2002. A numerical-statistical hybrid modeling scheme for evaluation of draught requirements of subsoiler cutting a sandy loam soil, as affected by moisture content, bulk density and depth. *Soil and Tillage Research*, 63:155-165.
15. Owen, G.T. 1989. Force-depth relationships in a pedogenetically compacted clay loam soil. *Applied Engineering in Agriculture*, 5(2): 185-191.
16. Perumpral, J.V., Grisso, R.D., and Desai, C.S. 1983. A soil tool model based on limit equilibrium analysis. *Transactions of the ASAE*, 26(4): 991-995.
17. Upadhyaya, S.K., Williams, T.H., Kemble, L.J., and Collins, N.E. 1984. Energy requirement for chiseling in coastal plain soils. *Transactions of the ASAE*, 36(5): 1267-1270.