# تعیین فاصله بهینه بین تیغه‌های گاوآهن کج ساق متقابل برای دستیابی به خاکورزی مطلوب

**محمد حسین رئوفت و حمید مشهدی میغانی**

**استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی**

**دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز**

تاریخ پذیرش مقاله ۷۷/۹/۴

## خلاصه

بمنظور تعیین فاصله بهینه بین دو واحد گاوآهن کج ساق و همچنین تعیین فاصله بهینه بین دو ردیف متوالی گاوآهن جهت دستیابی به خاکورزی مطلوب همراه با توان مصرفی کم آزمایشهای مزرعه‌ای انجام گرفت. بدین منظور گاوآهن مذکور بر یک میله افزار سوار شده و در مزرعه‌ای با بافت لومی رسی در رطوبت ۱۵٪ وزن خاک خشک با سرعت پیشروی تراکتور برابر با ۳/۵ کیلومتر در ساعت مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایشها در قالب طرح کرت‌های خرد شده و با احتساب سه تکرار انجام گردید. عمق خاکورزی بعنوان فاکتور اصلی در سه سطح ۲۵، ۳۵ و ۴۵ سانتی‌متر و فاصله بین دو ردیف مجاور بعنوان فاکتور فرعی در چهار سطح ۹۵، ۱۱۵، ۱۳۵ و ۱۵۵ سانتی‌متر انتخاب گردید. فاصله بین دو ردیف متوالی در هر تیمار نصف فواصل بین دو تیغه مجاور در نظر گرفته شد. در هر آزمایش مقادیر مقاومت کششی مصرفی و تغییرات حاصله در خصوصیات فیزیکی خاک در فواصل بین دو تیغه مجاور و بین دو ردیف متوالی اندازه‌گیری گردید. نتایج آزمون کشش بیانگر اثرات معنی‌دار فاصله بین تیغه‌ها و عمق خاکورزی بر مقاومت کششی بوده بطوریکه افزایش هریک موجب افزایش این نیرو گردید. توان مورد نیاز دستگاه برای محدوده فاصله ۱۵۵ - ۹۵ سانتی‌متری، و محدوده عمق ۴۵ - ۲۵ سانتی‌متری درمحدوده ۲۳/۵ - ۱۶/۵ کیلووات متغیر بود. متوسط نفوذ تجمعی آب در خاک در مدت ۴۵ دقیقه در فواصل بین دو تیغه مجاور و در فواصل بین دو ردیف متوالی بترتیب به میزان ۲/۸ و ۱/۸ برابر نسبت به قبل از خاکورزی افزایش یافت. کاهش چشمگیر شاخص مخروطی نسبت به قبل از خاکورزی از دیگر نتایج حاصله می‌باشد از دو رگرسیون چند متغیره بمنظور ارتباط پارامترهای اندازه‌گیری شده و فواصل مورد نظر استفاده گردید. معادلات حاصل، فواصل بهینه بین دو تیغه مجاور و بین دو ردیف متوالی را بترتیب برابر ۱۲۲ و ۴۷/۵ سانتی‌متر پیشنهاد می‌نماید. رعایت فواصل توصیه شده بهنگام بکارگیری این نوع گاوآهن، موجبات بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، و افزایش راندمان مزرعه‌ای در عین نیاز به توان مصرفی کمتر را فراهم آورده و از این رو برای زارعین سودمند می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** زیر شکنی، خاکورزی عمیق ،گاوآهن کج ساق و فاصله بهینه بین تیغه های خاکورز

## مقدمه

خاک زراعی در اثر تردد تراکتور و ادوات کشاورزی بتدریج متراکم می‌گردد. بطوریکه در بعضی از اراضی در عمق ۲۵ سانتیمتر و یا پایین‌تر شاهد وجود یک لایه متراکم می‌باشیم. لایه‌های متراکم در اعماق بیشتر نیز مشاهده می‌گردند که غالباً منشاء طبیعی دارند (۱). کاهش نفوذپذیری آب در خاک، اختلال در رشد گیاه، جاری شدن

آبهای سطحی و خاکشویی حاصله از مشکلات اینگونه اراضی می‌باشد. محدودیت عمق کار گاوآهن قلمی و توان بالای مورد نیاز زیرشکن‌ها از عوامل محدودکننده عملیات خاکورزی عمیق می‌باشد (۴).از طرفی چنانچه خاکورزی عمیق همراه با باقی ماندن پوششی از بقایای گیاهی و کلوخهای دست نخورده روی سطح خاک باشد، فرسایش بادی و آبی خاک تقلیل خواهد یافت (۳).

بنابر مطالعات و تحقیقاتی که توسط پی جن و کوکسلی (۶) صورت گرفته است، دو نوع گاوآهن عمیق بنامهای پاراپلو[1] و کج ساق[2] می‌توانند با مصرف توان کمتر در مقایسه با زیرشکن‌های معمولی، اهداف خاکورزی حفاظت شده را نیز برآورده نمایند. عدم تعادل جانبی و هزینه بالای تولید از معایب عمده پاراپلو می‌باشد (۷ و ۸). طرح جدیدی از این گاوآهن که بنام گاوآهن کج ساق نامیده می‌شود (۴) فاقد نوک گوه‌ای شکل و کفشک بوده و در دو نوع با زاویه اتصال ساق به تیغه ۳۰ و ۴۵ درجه مورد آزمایش قرار گرفته است. در محل اتصال ساقه به تیغه یک شیب جانبی تحت عنوان زاویه نفوذ منظور می‌گردد. این دو زاویه اثرات قابل توجهی بر میزان توان مصرفی دارند. نتایج مطالعات مذکور حاکی از مؤثر بودن تغییرات عمق و فاصله بین تیغه‌های مجاور بر نیروی کشش مصرفی می‌باشد. دو محقق دیگر (۱۱) عملکرد سه نوع گاوآهن کج ساق با زوایای ۳۰ و ۴۵ درجه (مدل ۴۵ درجه با دو زاویه نفوذ صفر و ۱۵ درجه) را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج حاصله بیانگر عدم توانایی نفوذ وسیله در خاک با زوایه نفوذ صفر درجه و ارجحیت گاوآهن نوع ۳۰ درجه به لحاظ نیاز به نیروی کمتر می‌باشد. این نوع گاوآهن در زاویه نفوذ صفر درجه، نفوذ مطلوبی نداشته و جهت تعادل نیروهای جانبی بایستی از تعداد مساوی تیغه‌های چپ و راست خمیده استفاده نمود (۹).

مجیدی و رئوفت (۱۲) عملکرد گاوآهن کج ساق نوع ۳۰ درجه منفرد چپ‌گرد را در سه عمق مختلف (۲۵، ۳۵، ۴۵ سانتی‌متر) و سه زاویه نفوذ (۷/۵، ۱۵ و ۲۲/۵ درجه) مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله بیانگر حداقل توان مصرفی در زاویه نفوذ ۷/۵ درجه و بهبود چشمگیر شاخص‌های مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک نسبت به تیمار شاهد بود. ضمناً ۷۴٪ بقایای گیاهی نسبت به قبل از خاکورزی دست نخورده باقی مانده بود. در مجموع نتایج تحقیقات انجام شده حاکی از امکان انجام خاکورزی حفاظتی به کمک بکارگیری این نوع گاوآهن می‌باشد.

بمنظور بهره‌گیری از حداکثر توان تراکتور و افزایش ظرفیت مزرعه‌ای از طریق کاهش تعداد تردد وسیله در مزرعه تعبیه فاصله مطلوب بین تیغه‌ها روی یک شاسی و فاصله مطلوب بین دو ردیف متوالی در رفت و برگشت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است . در تحقیق حاضر بکارگیری دو تیغه در حالت متقابل بمنظور یافتن فاصله بهینه بین تیغه‌ها جهت کارآیی بهتر و دستیابی به ظرفیت مزرعه‌ای بهینه مورد مطالعه قرار گرفت.

**اهداف تحقیق حاضر عبارت بودند از:**

الف - تعیین مقاومت کششی و بررسی تغییرات در شاخص‌های مربوط به ویژگی‌های فیزیکی خاک در مقایسه با قبل از خاکورزی.

ب - تعیین و معّرفی فاصله بهینه بین دو تیغه مجاور و فاصله بهینه بین دو ردیف متوالی بمنظور دستیابی به مناسبترین الگوی خاکورزی با این نوع گاوآهن.

## مواد و روشها

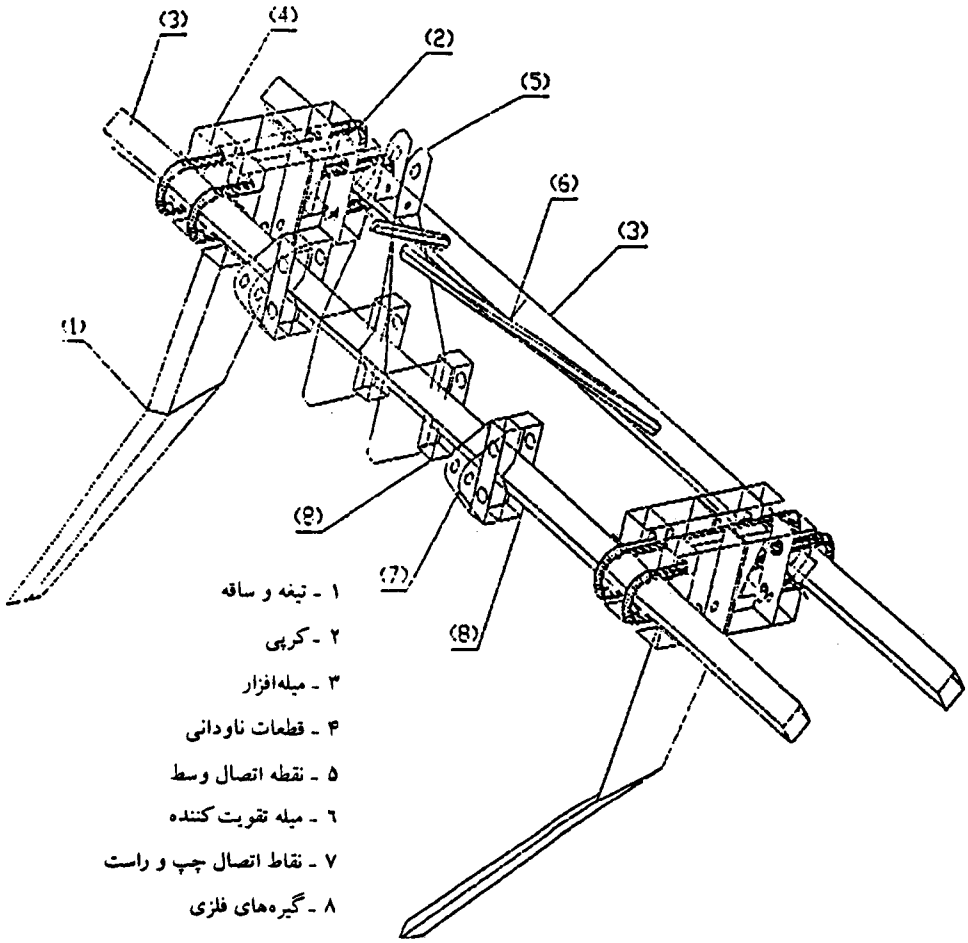
آزمایشها در قسمتی از اراضی واقع در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در ۱۶ کیلومتری شمال شیراز صورت گرفت. خاک مورد آزمایش از سری[3] دانشکده (۳) و دارای بافت لومی رسی و ساختمان کلوخه‌ای تا عمق ۵۰ سانتی‌متری بود. رطوبت خاک به هنگام اجرای آزمایشات برابر ۱۵٪ وزنی خشک بود. خاکورزی با استفاده از دو گاوآهن کج ساق یکی از نوع خمیده به چپ و دیگری به راست که بر روی یک شاسی سوار شده بودند انجام گرفت (شکل ۱). گاوآهن‌های مذکور مشابه گاوآهن استفاده شده در تحقیق مجیدی و رئوفت (۱۲) از نوع ۳۰ درجه بود اگر چه در این گاوآهن‌ها زوایای نفوذ در چهار حد ۰، ۷/۵، ۱۵ و ۲۲/۵ درجه قابل تنظیم بود ولی با توجه به نتایج مطالعات قبلی (۱۲) در تحقیق حاضر این زاویه به مقدار ۷/۵ درجه تنظیم گردید. زمین مورد استفاده در حالت آیش بوده و پوشیده از بقایای کشت

1 - Para plow

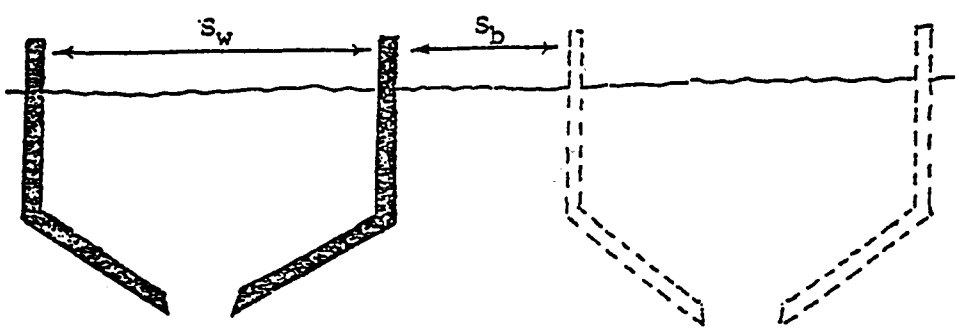
2 - Bentleg plow

3 - Fine, Mixed, Mesic, Calcixerollic Xerochrepts

گندم سال قبل بود. آزمایشها در کرت‌هایی به اندازه ۴۰ × ۴ متر انجام گرفت. عمق خاکورزی به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح ۲۵، ۳۵ و ۴۵ سانتی‌متر و فاصله بین دو تیغه مجاور (Sw) به عنوان فاکتور فرعی در چهار سطح ۹۵، ۱۱۵، ۱۳۵، ۱۵۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. از آنجاکه با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده خاک لبه بیرونی تیغه‌ها نسبت به خاک طرف داخلی بسیار کمتر مورد خاکورزی قرار می‌گیرد (۱۲)، فاصله بین دو ردیف متوالی (Sb) معادل نصف فاصله بین دو تیغه مجاور در نظر گرفته شد (شکل ۲). بدین ترتیب فاصله بین دو ردیف متوالی به ترتیب برابر ۴۷/۵، ۵۷/۵، ۶۷/۵ و ۷۷/۵ سانتی‌متر انتخاب گردید. در هر کرت عمل خاکورزی با یک رفت و برگشت انجام و فاصله بین رفت و برگشت برابر ارقام فوق رعایت شد.




شکل ۱ - تصویر شماتیک یک دستگاه گاوآهن کج ساق (Bentleg plow)




شکل ۲ - وضعیت تیغه‌ها بهنگام خاکورزی با رعایت فواصل پیشنهاد شده

آزمایشها در قالب طرح کرتهای خُرد شده بااحتساب ۱۲ تیمار و در سه تکرار انجام گرفت. قبل از انجام آزمایشها شاخص مخروطی خاک به کمک استفاده از دستگاه نفوذ سنج مخروطی در ۱۰ نقطه از هر پلات در محدوده عمق ۵۰ - ۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری گردید. قبل از خاکورزی، نفوذ تجمعی آب در خاک (در مدت ۴۵ دقیقه) به کمک استوانه دوگانه در سه نقطه از هر پلات اندازه‌گیری گردید. با توجه به نتایج مطالعات قبلی و در دست داشتن توان مورد نیاز بازاء هر تیغه (۱۲) سرعت پیشروی تراکتور برابر با ۳/۵ کیلومتر بر ساعت انتخاب و در تمامی آزمایشها ثابت نگهداشته شد. در هر آزمایش مقاومت کششی، شاخص مخروطی خاک، نفوذ تجمعی آب در خاک و همچنین سطح مقطع خاک بهم خورده اندازه‌گیری گردیدند. به منظور اندازه‌گیری مقاومت کششی مصرفی ابتدا دو گاوآهن مذکور به کمک اتصال سه نقطه به یک دستگاه تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ (۵۳ کیلووات) سوار گردید. سپس این تراکتور به کمک زنجیر حامل دینامومتر بوسیله یک دستگاه تراکتور جان دیر ۴۲۳۰ (۹۰ کیلووات) در دو حالت با بار و بدون بار (۱۳) به حرکت درآورده شد. تفاوت مقاومت کششی اندازه‌گیری شده در دو حالت مذکور نیروی کشش مورد احتیاج جهت به حرکت در آوردن گاوآهن در آن تیمار بخصوص را بدست می‌دهد. اندازه‌گیری شاخص مخروطی و نفوذ تجمعی آب در خاک پس از اعمال تیمار نیز در دو نقطه در فواصل بین تیغه‌های مجاور (Sw) و در دو نقطه در فواصل بین دو مجموعه تیغه (Sb) انجام پذیرفت. به منظور بررسی سطح مقطع خاک بهم خورده بعد از اعمال تیمار در هر پلات اقدام به حفر پروفیل گردید. عرض پروفیل برابر فاصله بین دو تیغه مجاور باضافه فاصله بین دو ردیف متوالی از طرفین دستگاه در نظر گرفته شد. سپس با بررسی پروفیل کیفیت عملکرد و دامنه خاکورزی تیغه‌های گاوآهن تعیین گردید.

با در دست داشتن مقدار مقاومت کششی برای هر تیمار و همچنین سرعت پیشروی تراکتور به کمک رابطه ذیل توان مصرفی در هر تیمار محاسبه گردید:

$$DBP=F.S/C \qquad (1)$$

که در آن:

F: مقاومت کششی (کیلو نیوتن)

S: سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)

C: ضریب ثابت برابر ۳/۶

DBP: توان مالبندی (کیلو وات)

بمنظور ارزیابی بهتر عملکرد دستگاه دو معیار یکی بنام "مقاومت کششی بازاء واحد عرض کار" و دیگری بنام "مقاومت ویژه" برای هر تیمار محاسبه گردید. معیار اول از تقسیم مقاومت کششی بر فاصله بین تیغه‌ها در هر تیمار و معیار دوم از تقسیم مقاومت کششی بر سطح مقطع خاک بهم خورده محاسبه گردید.

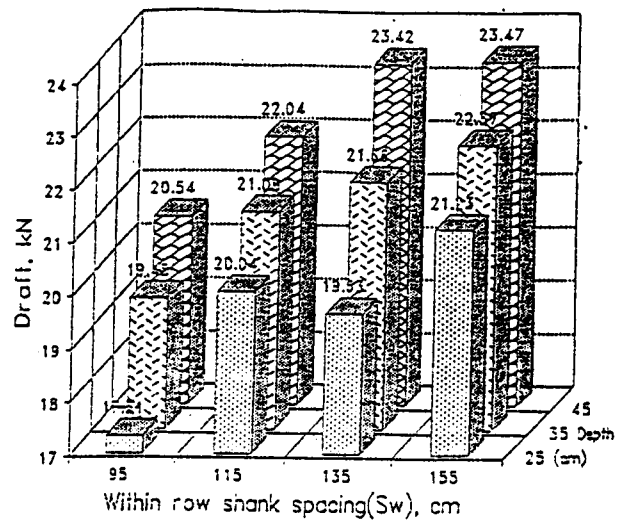
**تعیین فاصله بهینه بین تیغه‌ها:** به منظور تعیین مناسبترین فاصله بین تیغه‌ها جهت انجام خاکورزی مناسب اقدام به برقراری دو رابطه رگرسیون چند متغیره بین نتایج آزمونها گردید. در رگرسیون اول فاصله بین دو تیغه مجاور (Sw) به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای مورد آزمایش به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند.

در رگرسیون دوم فاصله بین دو عبور متوالی (Sb) بعنوان میگز وابسته و پارامترهای مورد آزمایش بعنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند.

## نتایج و بحث

**تعیین مقاومت کششی و توان مورد نیاز جهت خاکورزی:** نتایج آنالیز واریانس مقادیر مقاومت کشش نشان می‌دهد که دو فاکتور عمق خاکورزی و فاصله تیغه‌ها بر مقاومت کششی اثر معنی‌داری داشته‌اند. ضمن اینکه اثر متقابل فاصله و عمق معنی‌دار نبوده است. نتایج مقایسه میانگین‌های مقاومت کششی تیمارهای مختلف نیز بیانگر افزایش مقاومت کشش بواسطه افزایش هر یک از فاکتورهای فاصله و عمق می‌باشد.

افزایش مقاومت کششی مورد نیاز با افزایش فاصله بین دو تیغه (Sw)را می‌توان بعلت افزایش سطح مقطع عمود بر جهت حرکت تیغه و در نتیجه بالا رفتن نیروی عکس‌العمل ناشی از جابجایی خاک توسط تیغه‌ها دانست. کاهش مقاومت کششی در فاصله ۹۵ سانتی‌متر بین تیغه‌هانسبت به دیگر فواصل را می‌توان نتیجه تداخل بیشتر سطوح خاکورزی شده توسط تیغه‌هادانست (شکل ۳) با افزایش عمق خاکورزی خاک بطور طبیعی متراکم‌تر گردیده و جرم مخصوص خاک افزایش یافته و در نتیجه نیروی کشش لازم افزایش می‌یابد. علت دیگر این امر افزایش نیروی اصطکاک ناشی از حرکت خاک روی تیغه می‌باشد. بدین ترتیب با افزایش عمق خاکورزی جرم خاک




شکل ۳ ـ تغییرات نیروی کشش در عمقها و فواصل مختلف بین دو تیغه مجاور (Sw)

روی تیغه‌ها افزایش یافته و در نهایت بر نیروی اصطکاک بین خاک و تیغه‌ها افزوده می‌گردد.

نتایج تجزیه واریانس "نیروی کشش بازاء واحد عرض کار" حاکی از اثر معنی‌دار دو پارامتر فاصله دو تیغه و عمق خاکورزی بر مقاومت کششی و عدم وجود اثر معنی‌دار به لحاظ تأثیر متقابل این دو فاکتور بر مقاومت کششی می‌باشد. مقایسه میانگین‌های مقاومت کششی بازاء واحد عرض کار در فواصل مختلف بین دو تیغه جدول (۱) بیانگر کاهش میانگین نیروی کشش واحد با افزایش فاصله بین تیغه‌ها می‌باشد، بدین ترتیب کمترین مقدار نیروی کشش بازاء واحد عرض کار در حالتی که فاصله دو تیغه مجاور ۱۵۵ سانتی‌متر بوده است مشاهده گردید. متوسط نیروی کشش بازاء واحد عرض کار در این تحقیق ۱۷/۲۵ کیلونیوتن بر متر می‌باشد که تقریبا با نتایج بدست آمده توسط مجیدی و رئوفت (۱۲) برابری می‌نماید. تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده حاکی از آن است که افزایش عمق خاکورزی و افزایش فاصله بین دو تیغه مجاور توان مورد نیاز را بطور معنی‌داری افزایش می‌دهد. توان مورد نیاز در محدودهٔ فواصل و اعماق مورد آزمایش در محدوده ۲۳ ـ ۱۶/۵ کیلووات قرار داشت.

**بررسی تغییرات نفوذپذیری آب در خاک:**

**نتایج نفوذپذیری آب در فاصله داخلی بین دو تیغه (Sw):** نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که دو فاکتور عمق و فاصله بین دو تیغه مجاور بر نفوذپذیری آب در خاک تأثیر معنی‌داری دارند ولی نتایج این بررسی حاکی از عدم تأثیر متقابل این دو فاکتور بر نفوذپذیری است. مقایسه میانگین‌های نفوذ تجمعی در سطوح مختلف خاکورزی (جدول ۲) نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین مقدار نفوذ تجمعی آب در خاک در عمق ۳۵ و ۴۵ سانتی‌متری با مقدار این پارامتر در عمق ۲۵ سانتی‌متر وجود دارد. که علت این امر افزایش نفوذپذیری خاک بدلیل افزایش تخلخل خاک در لایه‌های پایین‌تر می‌باشد (۱۴). بعلاوه میانگین نفوذ تجمعی آب در حالتی که فاصله بین دو تیغه به ۹۵ سانتی‌متر بوده است بصورت معنی‌داری از مقادیر میانگین نفوذ آب در خاک در دیگر فواصل بین دو تیغه بالاتر بوده است. این امر در نتیجه تداخل بیشتر سطوح خاکورزی شده توسط تیغه‌ها و در نتیجه شکست بهتر لایه های خاک می‌باشد. در مجموع می‌توان چنین بیان داشت که نفوذ تجمعی در مدت ۴۵ دقیقه نسبت به قبل از خاکورزی بطور متوسط ۲/۸ برابر افزایش یافته است.

**نتایج نفوذپذیری آب در فاصله بین دو عبور متوالی (Sb):** نتایج تجزیه واریانس در این حالت نیز نشان از تأثیر معنی‌دار هریک از دو فاکتور عمق و فاصله بین دو عبور متوالی بر نفوذپذیری در فواصل یاد شده و عدم تأثیر متقابل این دو فاکتور بر نفوذپذیری آب در خاک دارد. مقایسه میانگین‌های مقادیر بدست آمده در عمق‌های مختلف خاکورزی و فواصل بین دو عبور متوالی (جدول ۳) بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار مقادیر میانگین نفوذ تجمعی آب در عمق ۴۵ سانتی‌متر با میانگین‌های نفوذ تجمعی آب در عمق های ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر می‌باشد و در این مورد نیز کمترین فاصله در نظر گرفته شده بین دو مجموعه تیغه (۴۷/۵ سانتیمتر) از نفوذپذیری بالاتر آب در خاک برخوردار است. لازم به توضیح است که مقادیر میانگین‌های نفوذ تجمعی آب در فواصل بین دو عبور متوالی از مقادیر متناظر خود در فواصل بین دو تیغه مجاور کمتر باشد این امر به معنی لزوم رعایت فاصله کمتر از حداقل فاصله در نظر گرفته شده در این تحقیق به هنگام سوار کردن دو مجموعه تیغه می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان بهم خوردن کمتر خاک پشت تیغه به هنگام خاکورزی دانست (شکل ۴) در مجموع نفوذ تجمعی آب در خاک نسبت به قبل از خاکورزی بطور متوسط ۱/۸ برابر افزایش یافته است.

**بررسی تغییرات در شاخص مخروطی:**

**تغییرات شاخص مخروطی در فاصله بین دو تیغه مجاور (Sw):** نتایج تجزیه واریانس مقادیر بدست آمده برای شاخص مخروطی

جدول ۱ - مقایسه میانگین‌های نیروی کشش بازاء واحد عرض کارد در عمق‌ها و فواصل مختلف بین دو تیغه مجاور (Sw) (کیلونیوتن بر متر)

| میانگین‌نیروی کشش واحد در عمقهای مختلف | فاصله تیغه ها (سانتیمتر) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (S۴) ۱۵۵ | (S۳) ۱۳۵ | (S۲) ۱۱۵ | (S۱) ۹۵ | | |
| ۱۵/۹۶C | ۱۳/۷۱Bc | ۱۶/۵۴Bb | ۱۷/۴۲Bab | B$$a$۱۸/۱۹ | (D۱)۲۵ | عمق خاکورزی (سانتی متر) |
| ۱۷/۳۲B | ۱۴/۴۳ABd | ۱۶/۰۵Bc | ۱۸/۳۳ABb | ۲۰/۴۷Aa | (D۲)۳۵ | |
| ۱۸/۴۷A | ۱۵/۴۴Ad | ۱۷/۶۵Ac | ۱۹/۱۶Ab | ۲۱/۶۲Aa | (D۳)۴۵ | |
| | ۱۴/۵۲d | ۱۶/۰۸c | ۱۸/۳۱b | ۲۰/۰۹a | میانگین نیروی کشش واحد در فواصل دو تیغه مجاور | |

$$: میانگین‌ها در هر ستون بوسیله آزمون دانکن در سطح ۱٪ با هم مقایسه شده‌اند.

$: میانگین‌ها در هر ردیف بوسیله آزمون دانکن در سطح ۱٪ باهم مقایسه شده‌اند.

جدول ۲ - مقایسه میانگین‌های نفوذپذیری آب در عمق‌ها فواصل مختلف بین دو مجموعه تیغه (Sb)(سانتی‌متر) (نفوذ تجمعی قبل از خاکورزی ۴/۶ سانتی‌متر در مدت ۴۵ دقیقه)

| میانگین نفوذ پذیری درعمقهای مختلف خاکورزی | فاصله تیغه ها (سانتیمتر) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (S۴) ۷۷/۵ | (S۳) ۶۷/۵ | (S۲) ۵۷/۵ | (S۱) ۴۷/۵ | | |
| ۷/۴۴B | ۶/۲۳Aa | ۸/۰۳ABa | ۶/۸۳Aa | B$$a$۸/۰۱۷ | (D۱)۳۵ | عمق خاکورزی (سانتی متر) |
| ۷/۷۲B | ۶/۷۱Ab | ۶/۱۳Bb | ۷/۶۷Ab | ۱۰/۳۷ABa | (D۲)۳۵ | |
| ۹/۷۷A | ۸/۳۳Ad | ۹/۸۷Aab | ۸/۶۷Ab | ۱۲/۲۰Aa | (D۳)۴۵ | |
| | ۷/۰۹b | ۸/۰۱b | ۷/۷۲b | ۱۰/۴۱a | میانگین نفوذ ناپذیری آب درفواصل دو مجموعه تیغه | |

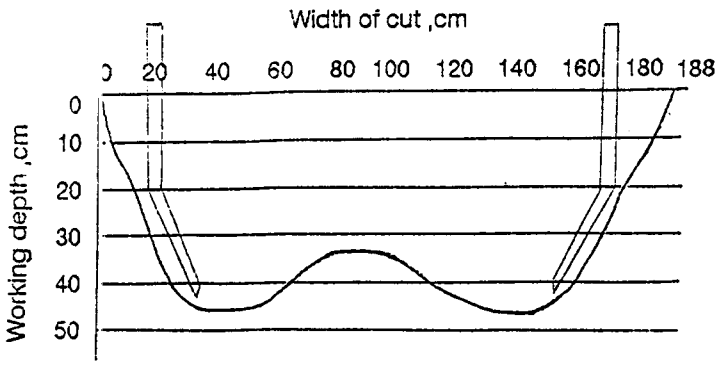
$$: میانگین‌ها در هر ستون بوسیله آزمون دانکن در سطح ۱٪ با هم مقایسه شده‌اند.

$: میانگین‌ها در هر ردیف بوسیله آزمون دانکن در سطح ۱٪ با هم مقایسه شده‌اند.

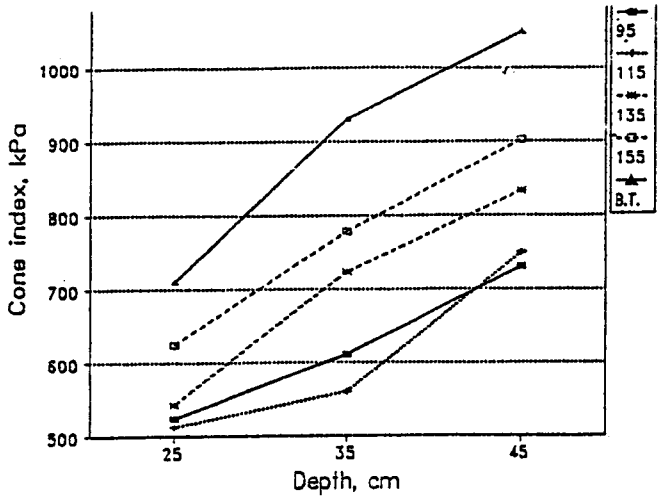
خاک در فواصل یاد شده نشان می‌دهد که فاکتور عمق و فاصله بین دو تیغه مجاور بر میزان شاخص مخروطی خاک اثر معنی‌داری داشته ولی اثر متقابل این دو فاکتور بر شاخص مذکور معنی‌دار نبوده است. مقایسه میانگین‌های بدست آمده در عمق‌های مختلف خاکورزی و فواصل مختلف بین تیغه‌های مجاور برای شاخص مخروطی خاک (جدول ۴) بیانگر اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌های بدست آمده برای عمق‌های مختلف خاکورزی می‌باشد. مقایسه مقادیر این جدول و میانگین‌های شاخص مخروطی خاک برای تیمار شاهد (در اعماق، ۲۵ - ۰ سانتی‌متر، ۳۵ - ۲۵ سانتی‌متر و ۴۵ - ۳۵ سانتی‌متر از سطح خاک بترتیب ۷۱۰، ۹۳۱ و ۱۰۵۰ کیلوپاسکال) بیانگر کاهش قابل توجه مقاومت به نفوذ خاک در اثر خاکورزی می‌باشد. علت این امر افزایش تخلخل خاک و شکست لایه‌های مختلف آن در عمق‌های خاکورزی شده می‌باشد.

بررسی میانگین‌های بدست آمده برای شاخص مخروطی خاک در فواصل مختلف بین دو تیغه بیانگر این موضوع است که به لحاظ خاکورزی این پارامتر در حالتی که فاصله بین تیغه‌ها ۹۵ سانتی‌متر بوده است به نحو چشمگیری از ۸۹۷ به ۶۱۶ کیلوپاسکال کاهش یافته است. طبیعی است که در اثر ازدیاد فاصله تیغه‌ها، خاکورزی در فاصله بین دو تیغه در عمقهای پایین‌تر در حد کمتری انجام می‌شود و بطور کلی در اثر افزایش فاصله بین دو تیغه مجاور مقدار میانگین شاخص مخروطی خاک در وسط فاصله بین دو تیغه افزایش خواهد یافت (شکل ۵).

**تغییرات شاخص مخروطی خاک در فاصله بین دو عبور متوالی** (Sb): نتایج تجزیه واریانس این پارامتر در فواصل بین دو عبور متوالی حاکی از اثر معنی‌دار فاکتورهای عمق و فاصله بین مجموعه تیغه‌ها بر شاخص مخروطی است ضمن اینکه دو فاکتور عمق و فاصله بین تیغه‌ها اثر متقابل معنی‌داری براین شاخص نداشته‌اند. میانگین‌های شاخص مخروطی خاک (جدول ۵) در عمق‌ها و فواصل مختلف خاکورزی ضمن اینکه از روند مشابهی در مقایسه با مقادیر میانگین‌های بدست آمده در فواصل بین دو تیغه مجاور پیروی می‌کند امّا بعلت عدم خاکورزی مطلوب در این نواحی از مقادیر بیشتری برخوردار هستند. میانگین شاخص مخروطی در عمق‌های مختلف در حالات مختلف فواصل پشت دو تیغه در دو مجموعه مجاور نسبت به




شکل ۴ - سطح مقطع خاک بهم خورده در تیمار S۴D۳ (سطح مقطع خاکورزی شده ۰/۶۵۵۰ متر مربع)




شکل ۵ - مقایسه تغییرات شاخص مخروطی خاک در عمقها و فواصل مختلف بین دو تیغه مجاور (Sw) با تیمار شاهد

تیمار شاهد تفاوت زیادی ندارند. و این موضوع در حالتی که این فاصله به میزان ۷۷/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده مشخص‌تراست. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که تعیه فاصله‌ای در حدود ۴۷/۵ سانتی‌متر بین دو مجموعه تیغه مناسبترین فاصله می‌باشد.

**بررسی سطح مقطع خاک بهم خورده:** نتایج آنالیز واریانس بیانگر اثر معنی‌دار فاکتورهای عمق خاکورزی و فاصله بین دو تیغه مجاور بر مقدار سطح مقطع خاک بهم خورده و عدم وجود اثر متقابل این دو فاکتور بر سطح مقطع خاک بهم خورده می‌باشد. در اثر افزایش فاصله بین دو تیغه مجاور و هم‌چنین در اثر افزایش عمق خاک خاکورزی، میانگین سطح مقطع افزایش یافته است.

روند کلی تغییر در مقادیر مقاومت ویژه تیمارها حاکی از

جدول ۳ - مقایسه میانگین‌های نفوذپذیری آب در عمق‌ها و فواصل مختلف بین دو تیغه مجاور (Sw) (سانتی‌متر)
(نفوذ تجمعی قبل از خاکورزی ۴/۶ سانتی‌متر در مدت ۴۵ دقیقه)

| میانگین نفوذ پذیری در عمقهای مختلف خاکورزی | فاصله تیغه ها (سانتیمتر) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (S۴) ۱۵۵ | (S۳) ۱۳۵ | (S۲) ۱۱۵ | (S۱) ۹۵ | | |
| ۹/۸۳B | ۷/۴Bb | ۸/۰۳Bb | ۱۱/۱۱Aab | A$$a$۱۲/۷۷ | (D۱)۳۵ | عمق خاکورزی سانتی متر |
| ۱۳/۸۳A | ۱۲/۷۸ABa | ۱۲/۱۰ABa | ۱۴/۶۷Aa | ۱۵/۷۵Aa | (D۲)۳۵ | |
| ۱۴/۸۲A | ۱۳/۳۳Aa | ۱۴/۸۱Aa | ۱۴/۰۳Aa | ۱۷/۱۰Aa | (D۳)۴۵ | |
| | ۱۱/۱۷c | ۱۱/۶۴bc | ۱۳/۷۳ab | ۱۵/۱۲a | میانگین نفوذ ناپذیری آب در فواصل دو تیغه مجاور (sw) | |

$$: میانگین‌ها در هر ستون بوسیله آزمون دانکن در سطح ۱٪ با هم مقایسه شده‌اند.

$: میانگین‌ها در هر ردیف بوسیله آزمون دانکن در سطح ۱٪ با هم مقایسه شده‌اند.

جدول ۴ - مقایسه میانگین‌های شاخص مخروطی خاک در عمقهاو فواصل بین دو عبور متوالی (Sb) (کیلو پاسکال)

| میانگین نیروی کشش واحد درعمقهای مختلف | فاصله تیغه ها (سانتیمتر) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (S۴) ۷۷/۵ | (S۳) ۶۷/۵ | (S۲) ۵۷/۵ | (S۱) ۷/۵ | | |
| ۶۴۱B | ۶۲۴Ba | ۶۷۸Ba | ۶۴۰Ba | B$$a$۵۳۹Ba | (D۱)۲۵ | عمق خاکورزی سانتی متر |
| ۷۸۶AB | ۸۱۳ABa | ۸۳۷ABa | ۷۹۰ABa | ۷۰۴ABa | (D۲)۳۵ | |
| ۹۴۴A | ۱۰۰۳Aa | ۹۲۹Aa | ۹۶۲Aa | ۸۷۹Aa | (D۳) ۴۵ | |
| | ۸۴۱a | ۸۱۵a | ۷۹۷a | ۷۰۸a | میانگین شاخص مخروطی خاک در فواصل دو مجموعه تیغه | |

$$: میانگین‌ها در هر ستون بوسیله آزمون دانکن در سطح ۱٪ با هم مقایسه شده‌اند.

$: میانگین‌ها در هر ردیف بوسیله آزمون دانکن در سطح ۱٪ با هم مقایسه شده‌اند.

جدول ۵ - مقایسه میانگین‌های شاخص مخروطی خاک در عمق‌ها و فواصل بین دو تیغه مجاور (Sb)

| میانگین شاخص مخروطی در عمقهای مختلف | فاصله تیغه ها (سانتیمتر) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (S۴) ۱۵۵ | (S۳) ۱۳۵ | (S۲) ۱۱۵ | (S۱) ۹۵ | | |
| ۵۴۷B | ۶۲۴Ba | ۵۴۳Ba | ۵۰۸Ba | A$$a$$۵۱۲ | ۲۵ (D۱) | عمق خاکورزی (سانتی متر) |
| ۶۱۶B | ۷۷۹ABa | ۷۲۰ABa | ۵۶۰ | ۶۰۵Aa | ۳۵ (D۲) | |
| ۸۰۳A | ۹۰۱Aa | ۸۳۲Aa | ۷۴۹Aa | ۷۳۱Aa | ۴۵ (D۳) | |
| | ۷۶۸a | ۶۹۸c | ۶۰۵b | ۶۱۶b | میانگین نیروی کشش واحد در فواصل دو تیغه مجاور | |

$$: میانگین‌ها در هر ستون بوسیله آزمون دانکن در سطح ۱٪ با هم مقایسه شده‌اند.

$: میانگین‌ها در هر ردیف بوسیله آزمون دانکن در سطح ۱٪ با هم مقایسه شده‌اند.

کاهش مقاومت ویژه با افزایش عمق خاکورزی می‌باشد علت این امر اینست که نسبت افزایش مقاومت کششی در دو سطح متوالی عمق کمتراز نسبت افزایش سطوح مقطع خاک بهم خورده می‌باشد با استدلالی مشابه می‌توان انتظار داشت میزان مقاومت ویژه با افزایش فاصله بین تیغه‌ها کاهش یابد.از نظر خاکورزی، کم شدن نسبت مقادیر نیروی کشش در تیمارهای متوالی در فواصل بین دو تیغه بدلیل انجام خاکورزی باشدت و کیفیت کمتر نسبت به کمترین فاصله بین دو تیغه مجاور می‌باشد. بنابراین مقاومت ویژه در تیمارهای مختلف آزمایش با افزایش فاصله بین تیغه‌ها کاهش یافته است (شکل ٦).

**تعیین فاصله بهینه بین تیغه‌ها:** تعیین فاصله بهینه بین دو تیغه مجاور با انجام رگرسیون چند متغیره بین نتایج پارامترهای مربوط به فاصله بین دو تیغه مجاور رابطه (۲) حاصل گردید که با قرار دادن فاصله بهینه مربوط به هر پارامتر در رابطه فاصله بهینه نهایی بین دو تیغه مجاور حاصل می شود:

$$Swo = ۱۰۹/۲ + ۱/۶۵ A - ۸/۹۵ B + ۳/۲۳ C - ۱/۵۴ D + ۳/۵۱ E + ۳/۱۳ F \quad (۲)$$

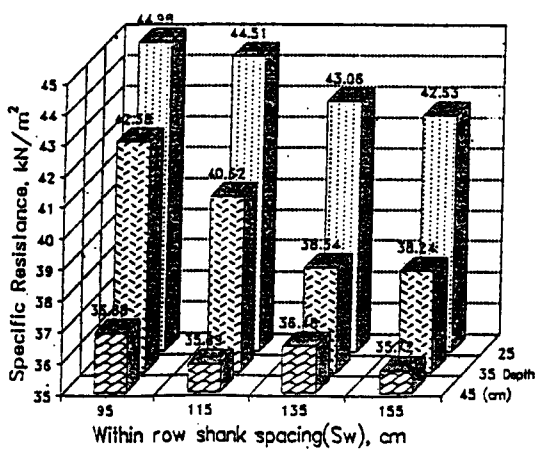
دراین رابطه:

A: فاصله بازاء کمترین مقدار میانگین نیروی کشش

B: فاصله بازاء کمترین مقدار میانگین نیروی کشش ویژه

C: فاصله بازاء کمترین مقدار میانگین نیروی مقاومت ویژه

D: فاصله بازاء بیشترین مقدار میانگین نفوذپذیری خاک




شکل ٦ - تغییرات مقاومت ویژه در عمقها و فواصل مختلف بین دو تیغه مجاور (Sw)

E: فاصله بازاء کمترین میزان میانگین شاخص مخروطی

F: فاصله بازاء بیشترین میزان میانگین سطح خاک بهم خورده

Swo: فاصله بهینه بین دو تیغه مجاور

می‌باشند با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده مقادیر زیر بدست آمد:

$A=۹۵cm, B=۱۵۵cm, C=۱۵۵cm, D=۹۵cm, E=۱۱۵cm$

سپس با قرار دادن این مقادیر در رابطه (۲) فاصله بهینه بین دو تیغه مجاور برابر ۱۲۲ سانتیمتر بدست آمد.

تعیین فاصله بهینه بین دو عبور متوالی با انجام روش مشابه و با توجه به اینکه متغیرهای مستقل اندازه‌گیری شده در فواصل بین دو مجموعه تیغه مقادیر نفوذپذیری و شاخص مخروطی خاک می‌باشند با برقراری رگرسیون چند متغیره بین مقادیر مستقل و وابسته رابطه (۳) حاصل گردید:

$$Sbo = -۵۳۸/۲ + ۸/۸۲۴ D_1 + ۳/۵ E_1 \quad [3]$$

که در این رابطه:

$D_1$: فاصله بازاء بیشترین مقدار میانگین نفوذ پذیری خاک

$E_1$: فاصله بازاء کمترین میانگین شاخص مخروطی خاک

Sbo: فاصله بهینه بین دو مجموعه تیغه

می‌باشند با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده مقادیر زیر بدست آمد:

$D=_1 ۴۷/۵cm, E_1 = ۴۷/۵cm$

سپس با قرار دادن این مقادیر در رابطه (۳) فاصله بهینه بین دو مجموعه تیغه برابر ۴۷/۵ سانتی‌متر بدست آمد.

بطور کلی نتایج حاصله بیانگر اینست که بکارگیری گاوآهن کج ساق از نوع متقابل موجبات بهبود چشمگیر خصوصیات فیزیکی خاک مانند شاخص مخروطی و نفوذ تجمعی آب در خاک را فراهم می‌آورد. ضمنا" توان مورد نیاز جهت انجام خاکورزی در فواصل و اعماق مورد مطالعه در این تحقیق در حد تراکتورهای میان قدرت موجود در منطقه می‌باشد بهنگام بکارگیری این نوع گاوآهن فاصله بین ساق دو واحد چپ‌گرد و راست‌گرد بایستی در حد ۱۲۲ سانتی‌متر تنظیم گردد. اندازه فاصله بین دو ردیف متوالی نیز در حد ۴۷/۵ سانتی‌متر توصیه می‌گردد رعایت فواصل یاد شده بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، نیاز به توان کمتر و ظرفیت مزرعه‌ای بالاتر را بدنبال خواهد داشت.

## مراجع مورد استفاده

## REFERENCES


۱ - سپاسخواه، ع. ۱۳۷۳. نقش تراکم خاک در مدیریت مزرعه. سمینار کادر هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

۳ - ابطحی، ع.، ن. کریمیان و م. صلحی. ۱۳۷۰. گزارش مطالعات خاکشناسی نیمه تفضیلی اراضی منطقه باجگاه. استان فارس. گزارش پژوهشی شماره ۱۲۶. دیماه.

4 - Harrison, H. P., D. S. Chanasyk & J. kienholz. 1992. Deep tilling with a bentleg plow. Intemational Conference on Agricultural Engineering. Uppsala, Sweden, paper No. 9201-106.

5 - Smith, L. A., & J. R. Willford. 1998. Power rerquirement of conventional, Triplex and Parabolic subsoilers. Trans. of the ASAE. 31(6):1685-1688.

6 - Cooksly, J. 1981. A new concept in soil care. Alberta Farming (August).

7 - Pidgeon, J. D. 1982 "Paraplow" A rational approach to soil management. Proc. 9th. Conference of International Soil Tillage Research Organization. ISTRO, Osijek, Yugoslavia, pp:633-638.

8 - Harrison, J. P. & Z. J. Licsko. 1989. Soil reacting force for models of three bentleg plows. Soil and Tillage Research. 15:125-135.

9 - Harrison, H. P. 1988. Soil reacting force for a bentleg plow. Trans. of the ASAE. 31(1):41-51

10 - Harrison, H. P. & Z. J. Licsko. 1989. Soil reacting wrenches and dynamics for three models of bentleg plows. Trans. of the ASAE. 32(1):50-53.

11 - Harrison, H. P. 1990. Soil reacting force for two tapered bentleg plow. Trans. of the ASAE. 33(5):1473-1476.

12 - Majidi Iraj, H. & M. H. Raoufat. 1998. Power requirement of bentleg plow and its effects on soil physical conditions. Iran Agricultural Research. Vol. 16, No.1. pp:1-16.

13 - Regional Network for Agricultural Machinery. 1983. RNAM Test Codes and Procedures for Farm Machinery. Technical Series No.12 Philippines.

14 - Mukhtar, S., J. L. baker, R. Horton & D. C. Erbach. 1985. Soil and water infiltration as affected by the use of Paraplow. Trans. of the ASAE. 28(6):1811-1816.

# Appropriate Tine Spacing of a Double Bentleg Plow for Better Tillage and Efficient Perfomance

**M. H. RAOUFAT AND H. MASHADI MIGHANI**

**Assistant Professor and Former Graduate Student, Department of Farm Machinery, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz,Iran**

**Accepted, Nov. 25 1998**

## SUMMARY

Field experiments were conducted to find the optimum spacings within two bentleg plows mounted on a tool-bar and between two sets of plows in subsequent trips. The optimum spacings would result in improved soil physical conditions at comparatively lower energy demand. The plows were operated on a clay-loam soil at 15% moisture content, db. at tractor forward speed of 3.5 $kmh^{-1}$. A split-plot design with three replications was considered for the study. Three plowing depths (25, 35 and 45cm )and four interrow spacings (95, 115, 135 and 155 cm)were considered as the main and sub-treatment in the study, respectively. The spacings between two subsequent rows were held at half of the corresponding interrow spacings. In each experiment the draft torce and changes in the soil physical conditions were measured. The analysis of the data revealed the significant increasing effects of plowing depth and spacing on the draft requirement. The power required by the plows for the within the rows spacing range of 95-155cm and the depth range of 25-45 cm was in the range of 16.5- 23.5 kw. The cumulative infiltration over 45 min. for the interrow spacings and the between row spacings increased up to 2.8 and 1.8 times that of before tillage conditions, respectively. Sharp decrease in soil cone index compared with before tillage conditions were noticed for both spacings. Two multiple regressions were performed to correlate the measured parameters and the spacings. The equations suggest that the optimum interrow spacing and spacing between two subsequent trips are 122 and 47.5 cm, respectively. Observing the recommanded spacings would result in better soil tillage and higher field efficiency at comparatively lower cost and therefore should benefit the farmers.

**Keywords:** Subsoiling, Deep tillage, Bentleg plow & Optimum tine spacing