

طراحی، ساخت و ارزیابی طرح بهینه گاوآهن کج ساق به منظور افزایش راندمان مصرف انرژی (۷۵)

رامین جعفری^۱، تیمور توکلی هاشجین^۲، محمد حسین رئوفت^۳

چکیده

هدف از تحقیق حاضر طراحی، ساخت و ارزیابی طرح جدید و بهینه گاوآهن کج ساق به منظور کاهش انرژی مصرفی در کشش گاوآهن می باشد. تفاوت اصلی بین طرح مرسوم و بهینه گاوآهن کج ساق، در زاویه لبه برنده تیغه و خط عمود بر ساقه گاوآهن می باشد. در طرح جدید با چرخش تیغه حول محور عمود بر خط اشتراک ساقه و تیغه به میزان ۱۸۰ درجه، زاویه لبه برنده و محور عمود بر ساقه منفی شده که سبب گسترش ترک های کششی در خاک و کاهش نیروی مقاومت کششی گاوآهن می گردد. آزمایشات انجام شده در انباره خاک به منظور مقایسه دو طرح مختلف گاوآهن کج ساق در سه زاویه حمله متفاوت (۷/۵ و ۱۵ و ۲۲/۵) صورت گرفت. علاوه بر نیروی مقاومت کششی و نیروی عمودی، تغییرات خواص فیزیکی خاک مانند جرم مخصوص ظاهری خاک شخم خورده و سطح مقطع خاک تخریب شده نیز اندازه گیری گردید. نتایج آزمایشات نشان داد که طرح بهینه گاوآهن کج ساق نیازمند نیروی کشش کمتری نسبت به طرح مرسوم می باشد. نیروی مقاومت کششی بطور معنی داری تحت تاثیر طرح گاوآهن کج ساق قرار گرفته بطوری که کمینه مقاومت کششی متعلق به طرح بهینه گاوآهن کج ساق در زاویه حمله ۷/۵ می باشد. زاویه حمله و نیز تغییر طرح گاوآهن بطور معنی داری بر نیروی عمودی اعمال شده بر گاوآهن موثر است بگونه ای که حداقل نیروی عمودی نیز در طرح بهینه و زاویه حمله ۷/۵ دیده می شود. بیشترین میزان راندمان مصرف انرژی در طرح بهینه و در زاویه حمله ۱۵ مشاهده گردید. همچنین کمترین میزان جرم مخصوص ظاهری خاک در همین تیمار مشاهده شد. مصرف نیروی کشش و تاثیر مطلوب گاوآهن بر خاک، طرح بهینه گاوآهن کج ساق را به عنوان جایگزینی مطمئن برای طرح مرسوم به خصوص در اراضی دارای خاکهای فشرده پیش رو می گذارد.

کلیدواژه: گاوآهن کج ساق بهینه، انباره خاک، خاک ورزی عمیق، خواص فیزیکی خاک

۱- استادیار بخش مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه راز

۲- استاد گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار بخش مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه شیراز

مقدمه

در بسیاری از مناطق، فشردگی خاکهای زراعی به عنوان آفتی جدی برای اراضی کشاورزی محسوب می شود. گوریف (۱۹۹۴) اذعان نمود که لایه های سخت تولید شده در خاکهای زراعی بیشتر به علت فشار پاشنه های گاواهن برگردان دار و فشار چرخهای تراکتور خصوصاً در اراضی مرطوب می باشد. بیشتر کشاورزان در گذشته از زیر شکن ها به عنوان ابزاری مناسب برای شکستن لایه های سخت خاک به منظور نفوذ بهتر ریشه گیاهان در خاک استفاده می کردند. کشاورزان پیشین معمولاً عملیات خاکورزی عمیق را توسط زیر شکن های مرسوم و به ندرت توسط گاواهن پاراپلو انجام می دادند (۲).

در سال ۱۹۸۱ گاواهن کچساق به عنوان اختراعی توسط کوسلی و ویلیامز معرفی شد. گزارشات اولیه که حاکی از راندمان بالای مصرف انرژی این گاواهن بود، سبب شهرت آن شد (۱۱). توان مورد نیاز این گاواهن نیز تقریباً در حد زیر شکن های مرسوم گزارش شد اما عامل برتری این ابزار نسبت به زیرشکن راندمان بالای آن در مصرف انرژی معرفی گردید (۱۲). پژوهندگان متعددی به بررسی تأثیر شکل هندسی گاواهن کچساق بر فرایند شکست خاک از لحاظ مصرف نیرو و تأثیر آن بر خاک بعد از شخم پرداختند (۷ و ۸ و ۵ و ۹ و ۴ و ۱۰). در کلیه تحقیقات ذکر شده به بررسی پارامترهای هندسی تیغه نظیر زاویه حمله و یا زاویه برش و همینطور پارامترهای عملکردی تیغه مانند عرض و عمق کار و نیز سرعت پیشروی تیغه در خاک بر مکانیزم مصرف نیرو پرداخته شد. نتایج تحقیقات محققین قبل حاکی از وجود رابطه مستقیم مولفه های عکس العمل افقی و عمودی تیغه با زاویه حمله می باشد.

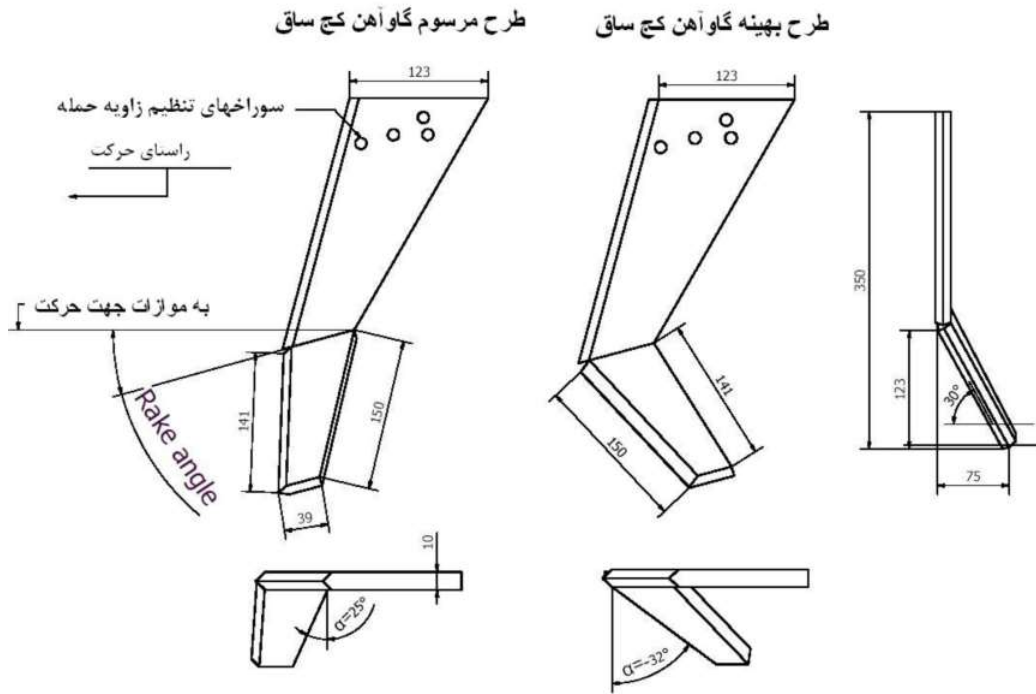
یکی از مهمترین مولفه های مصرف انرژی در ابزارهای خاکورز خصوصاً ابزارهای با سطح تماس زیاد با خاک، نیروی سربار عمودی وارد بر ابزار می باشد. در این ابزارها اثر فشار سربار به مراتب بیشتر از اثر عواملی چون چسبندگی و اصطکاک داخلی خاک و نیز سرعت پیشروی می باشد. با توجه به تأثیر فشار سربار بر نیروی مورد نیاز برای حرکت گاواهن، طرح جدید (بهینه) گاواهن کچساق مورد طراحی و ارزیابی رار گرفت. به منظور اقتصادی کردن مصرف انرژی گاواهن کچساق طرح جدیدی از این ابزار خاکورز طراحی شده که انتظار می رود مصرف نیروی مقاومت کششی آن کمتر از نوع مرسوم باشد. هدف اساسی تحقیق حاضر طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد طرح بهینه گاواهن کچساق و مقایسه آن با نوع مرسوم می باشد. تأثیر زاویه حمله بر عملکرد گاواهن نیز در هر دو طرح از اهداف دیگر تحقیق حاضر بود.

۲- مود و روشها

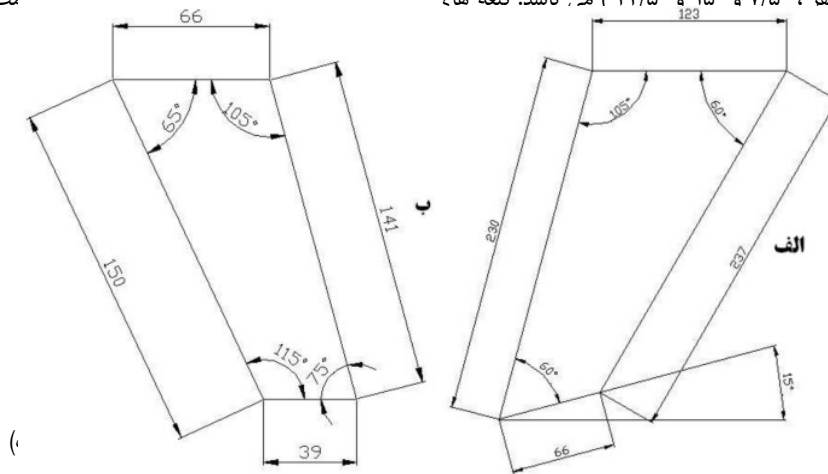
۲-۱ هندسه تیغه

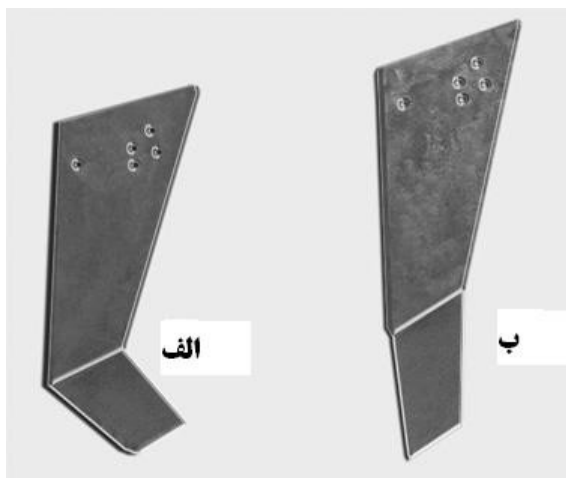
به منظور کاهش مقاومت کششی گاواهن و افزایش راندمان عملیات خاکورزی طرح بهینه گاواهن کچساق طراحی گردید. تفاوت اصلی بین طرح بهینه و طرح مرسوم در زاویه بین تیغه گاواهن و خط عمود بر ساقه می باشد (شکل ۱، زاویه α). زاویه بین تیغه گاواهن و خط عمود بر ساقه (شکل ۱، محور Z ها) در طرح مرسوم به اندازه ۲۵° به سمت جلو ساقه متمایل بوده حال آنکه این زاویه در طرح بهینه به اندازه ۳۲°- به سمت عقب ساقه متمایل می باشد. در طرح مرسوم گاواهن کچساق تحت الارض ابتدا تحت فشار تیغه گاواهن بریده شده و ترکهای ناشی از آن تا سطح گسترش می یابد. بنابراین خاک دست نخورده و سست نشده بر روی تیغه فشار عمودی اعمال کرده که همین امر موجب افزایش نیروی مقاومت کششی گاواهن می شود. در طرح مرسوم گاواهن کچساق، فشار سربار گاواهن ناشی از وزن خاک دست نخورده و سست نشده روی تیغه می باشد. مقدار این فشار در خاک های فشرده با دانسیته زیاد، به مراتب بیشتر از خاک های سست شده می باشد.

تغییر زاویه بین تیغه و خط عمود بر ساقه گاواهن در طرح بهینه سبب می گردد تا اولین نقاطی از خاک که تحت تهاجم تیغه قرار می گیرد خاک سطحی باشد. چرخش رو به عقب تیغه نسبت به ساقه باعث می گردد تا فرایند شکست خاک از سطح شروع شده و به سمت اعماق گسترش یافته و لذا فشار سربار اعمال شده به گاواهن از طرف خاک خرد شده و سست شده خواهد بود. کاهش فشار سربار اعمال شده به گاواهن سبب کاهش مقاومت کششی طرح بهینه می گردد. همچنین انتشار ترک های کششی در خاک در اثر عبور طرح بهینه گاواهن کچساق موجب کاهش نیروی لازم برای شکست خاک می شود. این ترکها در نوع مرسوم گاواهن به صورت ترکهای فشاری- برشی بوده که به نیروی بیشتری برای ایجاد آن نیاز می باشد.



شکل ۱- مقایسه هندسه طرح مرسوم و بهینه گاو آهن کج ساق
 شکل ۲ نشان دهنده ابعاد هندسی گاو آهن کج ساق بکار رفته در تحقیق حاضر می باشد. به منظور تأمین چهار زاویه حمله متفاوت، گاو آهن حول محور افقی دوران می کند. سوراخ های نشان داده شده در ساقه گاو آهن در شکل ۳ به منظور تأمین زوایای حمله متفاوت (صف ، ۷/۵ و ۱۵ و ۲۲/۵) متر باشد. تنغه های ...
 متر بوده که به





شکل ۳- وضعیت ساقه و تیغه نسبت به هم در گاواهن کج ساق بهینه (الف) و مرسوم (ب)

۲-۲- مکانیزیم شکست خاک در هر دو طرح گاواهن

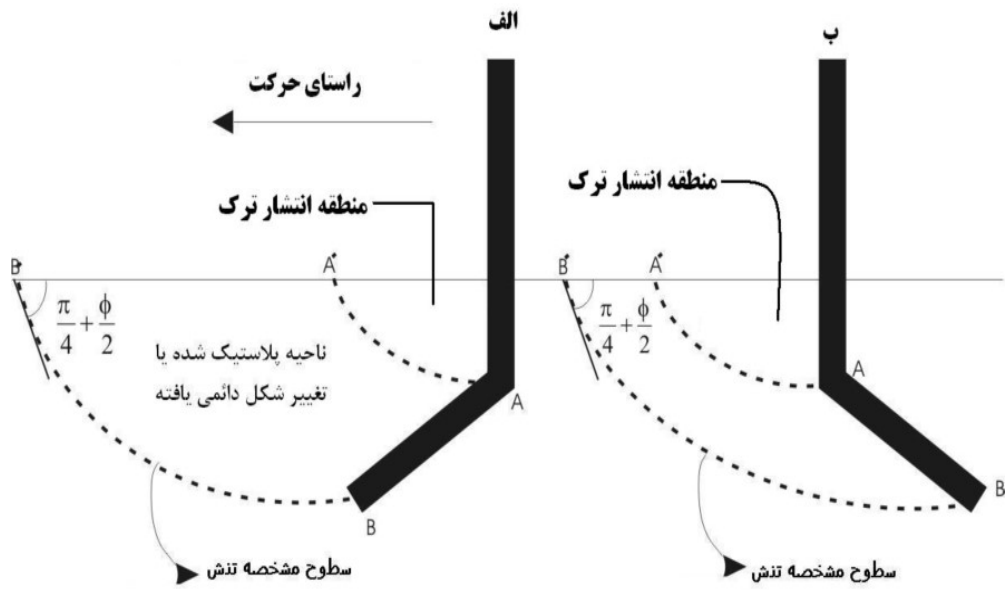
به هنگام حرکت یک تیغه خاک‌ورز ساده در خاک سه مرحله کلی در فرایند شکست خاک مشاهده می شود (۳). در نخستین فاز، رفتار خاک رفتار الاستیک خطی بود که با پیشروی بسیار کم تیغه در خاک این مرحله پایان می یابد. در مرحله دوم، رفتار پلاستیکی خاک پدیدار می گردد. با نفوذ بیشتر تیغه در خاک، اندازه ناحیه پلاستیک شده (تغییر شکل دائم یافته) گسترش می یابد. آخرین فاز، همان مرحله تولید و انتشار ترک ها می باشد. با حرکت بیشتر ابزار خاک‌ورز در خاک، گوه شکست خاک ظاهر شده و حرکت بیشتر تیغه سبب حرکت و توسعه ناحیه پلاستیک شده در مقابل گوه شکست می گردد.

به منظور توصیف کمی این مراحل می توان از مدل موهر-کولمب استفاده نمود. در این مدل دایره تنش موهر تا آنجا توسعه می یابد که بر خط تنش برشی کولمب مماس شود. در این مرحله خاک به تنش تسلیم رسیده و کرنش های پلاستیک پدیدار می شوند. در این مدل می توان اذعان نمود که خاک در نقطه تسلیم شکسته شده و ترکها منتشر می شود. بنابراین فرض آنکه کلیه نقاط واقع بر ناحیه پلاستیک شده در یک لحظه ترک خورده و تحت تنش بحرانی قرار دارند فرض قابل دفاعی می باشد.

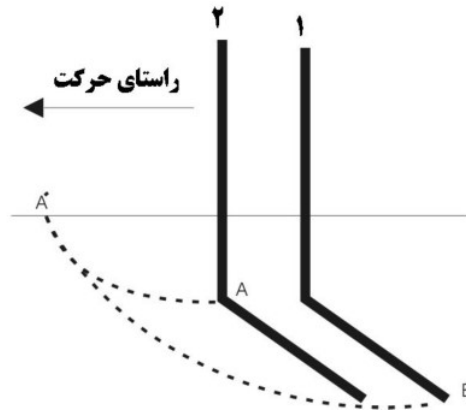
با استفاده از معادلات تعادل در نقطه تسلیم می توان موقعیت ترکها را معلوم نمود. به عنوان مثال برای عنصری از خاک با زاویه اصطکاک داخلی φ که تحت تأثیر تنش تک محوره قرار گرفته است ترک ها سطح خاک را با زاویه $\frac{\pi}{4} \pm \frac{\varphi}{2}$ قطع می کنند (۱). ترکها منحنی های سطح سه بعدی بوده که به سطوح مشخصه تنش موسوم می باشند. شکل نواحی ترک خورده به صورت منحنی های لگاریتمی می باشند که از حل معادلات تعادل به روش تعادل انرژی برای نقاط تسلیم تعیین می شوند (۳).

شکل ۴ نشان دهنده منحنی های مشخصه تنش برای هر دو طرح مرسوم و بهینه گاواهن کج ساق می باشد. با حرکت گاواهن مرسوم در خاک، نقطه B نخستین نقطه ای بوده که خاک را فشار داده و اولین منحنی لگاریتمی مشخصه یعنی منحنی

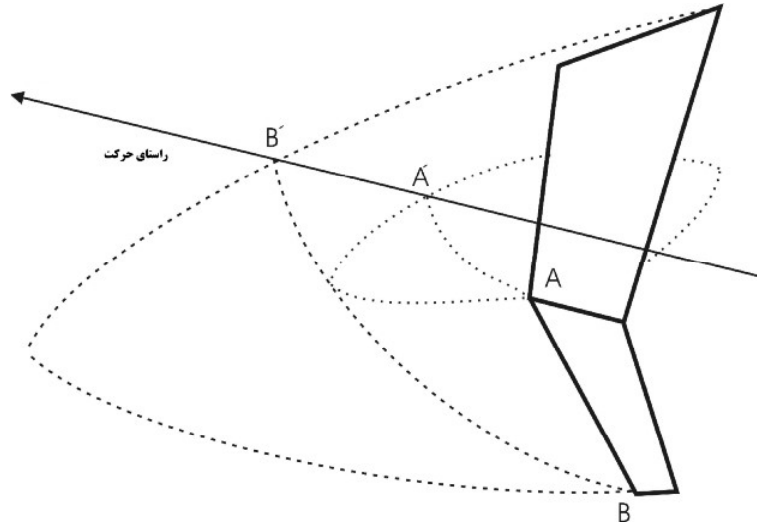
BB' تولید می شود. چون این منحنی ها سطح خاک را در زاویه $\frac{\pi}{4} \pm \frac{\varphi}{2}$ قطع می کنند، شکل دهی دفعی منحنی بزرگ BB' سبب مصرف آبی زیاد نیروی کشش می شود. در طرح بهینه اولین منحنی شکل گرفته AA' بوده که این منحنی تولید گوه کوچکتری می کند. با ادامه حرکت گاواهن به سمت جلو قسمتی از منحنی BB' تولید شده در گام قبلی با منحنی AA' تولید شده در گام بعد مشترک می شود. اشتراک منحنی های مشخصه با هم موجب کاهش نیروی مورد نیاز جهت شکل گیری نواحی ترک خورده شده که در نهایت باعث کاهش نیروی مقاومت کششی در طرح بهینه گاواهن کج ساق می گردد. شکل ۵ نحوه برخورد منحنی های مشخصه در گامهای متوالی حرکت برای طرح بهینه گاواهن کج ساق را نشان می دهد. ذکر این نکته بدیهی به نظر می رسد که اندازه نهایی ناحیه ترک خورده در هر دو طرح یکسان می باشد (اندازه نهایی این ناحیه شکسته ده به عرض و عمق گاواهن بستگی دارد). شکل ۶ نمایی سه بعدی از منحنی های مشخصه یا سطوح مشخصه تنش تولید شده در خاک در اثر عبور گاواهن کج ساق بهینه را نشان می دهد.



شکل ۴- شکل دو بعدی منحنی های مشخصه تنش در گاوآهن کج ساق مرسوم (الف) و بهینه (ب)



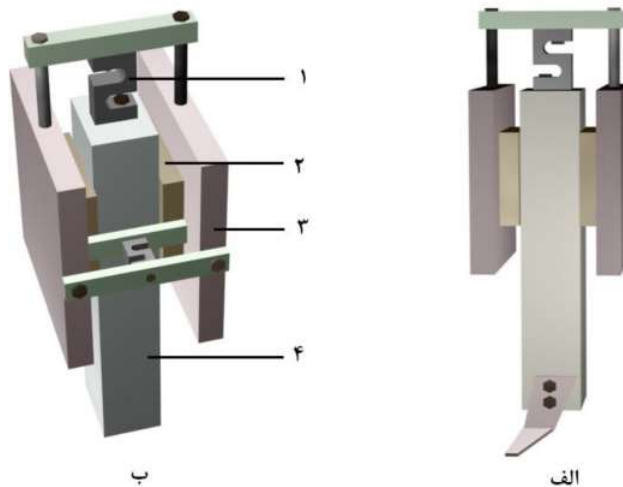
شکل ۵- اشتراک منحنی های مشخصه تنش در گامهای متوالی حرکت برای طرح بهینه گاوآهن کج ساق (۱ و ۲ بترتیب گامهای پیشین و پسین حرکت)



شکل ۶- شکل سه بعدی سطوح مشخصه تنش تولید شده توسط طرح بهینه گاوآهن کج ساق

۲-۳- ارزیابی آزمایشگاهی گاوآهن

آزمایشات در آزمایشگاه انباره خاک گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس صورت گرفت. ابعاد کلی انباره خاک مورد استفاده $0/6 \times 1/5 \times 8$ متر (ارتفاع \times عرض \times طول) بوده که نیروی محرکه آن توسط یک الکترو موتور ۲۰ کیلو وات به همراه جعبه دنده حلزونی دور متغیر تأمین می شد. سرعت خطی واحد محمل ادوات از $0/1$ تا 3 m/s قابل تغییر بود. از آنجا که در تحقیق حاضر آثار استاتیکی شکست خاک مورد بررسی قرار می گرفت از حداقل دامنه سرعت خطی استفاده گردید. به منظور اندازه گیری همزمان نیروهای افقی و عمودی وارد بر گاوآهن یک قاب اندازه گیر نیرو مطابق شکل ۷ طراحی و ساخته شد. سیستم مزبور از دو عدد لودسل به منظور اندازه گیری همزمان نیروهای افقی و عمودی تشکیل شده است. مطابق شکل، گاوآهن کج ساق به قسمت تحتانی بلوک فولادی میانی (شکل ۷، شماره ۴) متصل بوده و انتهای فوقانی آن به لودسل اندازه گیری نیروی عمودی متصل می باشد. در وجه جانبی این قطعه و همینطور وجه داخلی صفحات میانی (شکل ۷، شماره ۲) شیارهای عمودی با مقطع کروی تعبیه شده که در داخل این شیارها ساچمه های فولادی امکان حرکت قطعه میانی را به طور عمودی فراهم می کند. طول شیار تعبیه شده 100 mm بوده که در هر شیار ۵ عدد ساچمه فولادی به قطر 16 mm قرار داده شده است. در وجه خارجی صفحات میانی و نیز سطوح داخلی صفحات جانبی (شکل ۷، شماره ۳) شیارهای افقی مشابهی تعبیه شده که امکان ایجاد حرکت افقی کل سیستم بین دو صفحه جانبی را فراهم می کند. با اعمال یک نیروی مایل به گاوآهن مولفه افقی نیرو سبب حرکت افقی و مولفه عمودی آن سبب حرکت عمودی قطعه میانی متصل به گاوآهن می شود. حرکت افقی و عمودی این قطعه توسط دو لودسل کششی- فشاری (500K DBBP BONGSHING) مهار شده و اعمال هر نوع نیرویی به گاوآهن توسط این دو لودسل به دو مولفه افقی و عمودی تجزیه می شود. داده برداری نیروهای افقی و عمودی وارد بر گاوآهن با فرکانس 1 HZ برداشت شده و مقادیر نیرو پس از اعمال ضریب واسنجی توسط دستگاه ثبات و تجهیزات الحاقی آن (Tc-31 k Digital strainmeter Co., LTD) به منظور فراوری نهایی به رایانه منتقل می گردد.



شکل ۷- نمای شماتیک قاب اندازه گیری نیرو، نمای مقابل (الف) و نمای پشت (ب)
به منظور انتخاب تیمار بهینه از لحاظ مصرف انرژی، برابند نیروهای مقاومت کششی و عمودی طبق رابطه زیر محاسبه گردید.

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (1)$$

در رابطه فوق F نیروی برابند، F_x و F_y بترتیب نیروی مقاومت کششی و نیروی عمودی گاوآهن می باشد. نمودار تغییرات نیروی برابند در طول حرکت تیغه رسم شده و سطح محدود به این منحنی و محور افقی (محور جابجایی) محاسبه گردید. میزان مساحت محاسبه شده معرف انرژی مصرف شده توسط هر گاوآهن می باشد. بافت خاک مورد آزمایش از نوع Sandy loam با جرم مخصوص ظاهری $1/8 \text{ Mgm}^{-3}$ و رطوبت بر پایه خشک ۱۸٪ برای کلیه تیمارهای آزمایشی فراهم گردید. جرم مخصوص ظاهری خاک توسط نمونه گیری از نقاط مختلف انباره خاک در عمق ۴۰-۰ cm اندازه گیری شد. همینطور به منظور یکنواخت شدن رطوبت خاک در کل انباره از پوشش پلاستیکی روی خاک قبل از آزمایش استفاده گردید.

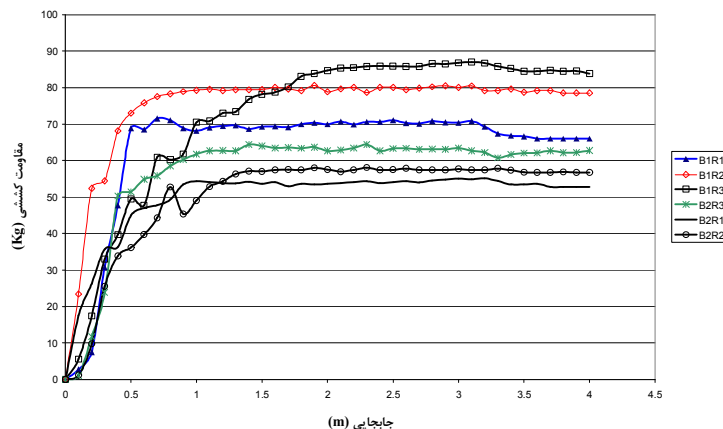
مقادیر نیروی افقی و عمودی وارد بر گاوآهن، دانسیته خاک شخم خورده و سطح مقطع خاک بر هم خورده در سه سطح مختلف زاویه حمله ($7/5^\circ$ و 15° و $22/5^\circ$) و دو طرح مختلف گاوآهن کجساق (طرح مرسوم و طرح بهینه) و در سه تکرار از ازه گیری شد. همچنین از تقسیم سطح مقطع خاک بر هم خورده بر نیروی کشش، راندمان بر هم خوردگی خاک در هر تیمار تعیین شد. تیمارهای آزمایش شامل تیغه مرسوم (B_1) و تیغه بهینه (B_2) بوده که در سه زاویه حمله ($R_1 = 7/5^\circ$ ، $R_2 = 15^\circ$ و $R_3 = 22/5^\circ$) و در سه تکرار مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند. تحلیل آماری داده های بدست آمده به منظور تجزیه واریانس و مقایسه میانگین ها به روش دانکن (DMRT) توسط نرم افزار SPSS انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نیروی کشش

شکل ۸ نمودار تغییرات نیروی کشش در طول حرکت تیغه در خاک را نشان می دهد. با شروع حرکت تیغه در خاک مقدار نیروی افقی وارد بر تیغه با روند سریعی افزایش می یابد. علت این امر افزایش کرنش های پلاستیک در خاک به لحاظ حرکت گاوآهن می باشد. با ادامه حرکت تیغه در خاک، تغییرات نیروی کشش غیر محسوس و پایدار می گردد. شکل ۸ نشان می دهد که حداقل و حداکثر نیروی کشش به ترتیب متعلق به طرح بهینه در زاویه حمله $7/5^\circ$ و طرح مرسوم در زاویه حمله $22/5^\circ$ می باشد.

نیروی کشش پایدار شده گاواهن کجساق به طور معنی داری ($P < 1\%$) تحت تأثیر نوع تیغه (B)، زاویه حمله (R) و اثر متقابل آنها قرار دارد (جدول ۱). همینطور مقایسه میانگین مقادیر نیروی کشش با آزمون دانکن (جدول ۲) بیانگر آن است که افزایش زاویه حمله و نیز تغییر طرح تیغه گاواهن از طرح بهینه به طرح مرسوم موجب افزایش نیروی کشش مورد نیاز می‌گردد. بدین ترتیب به منظور حصول حداقل نیروی کشش می‌بایست از گاواهن کجساق طرح جدید در زاویه $R_1 = 7/5$ استفاده نمود.



شکل ۸- نمودار تغییرات نیروی کشش در طول حرکت تیغه در خاک

جدول ۱- تجزیه واریانس مقاومت کششی

منابع تغییرات	df	SS	MS	F _s
تکرار	۲	۴/۰۸۰	۲/۰۴۰	۱/۸۹۶۶ ^{ns}
نوع تیغه (B)	۱	۹۰۱/۸۵۰	۹۰۱/۸۵۰	۸۳۸/۵۳۸۵ ^{**}
زاویه حمله (R)	۲	۱۱۱/۵۲۵	۵۵/۶۷۳	۵۱/۸۴۸۰ ^{**}
اثر متقابل (BR)	۲	۱۷۸/۵۱۵	۸۹/۲۵۸	۸۲/۹۹۱۶ ^{**}
خطا	۱۰	۱۰/۷۵۵	۱/۰۷۶	

** وجود اختلاف معنی‌دار به احتمال ۹۹٪

^{ns} . عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ۲ نشان می‌دهد که افزایش زاویه حمله در هر دو طرح موجب افزایش نیروی کشش می‌شود. همچنین جدول فوق نشان می‌دهد که با تغییر زاویه بین لبه برنده تیغه از وضعیت $+25^\circ$ در طرح مرسوم به -32° در طرح بهینه نیروی مقاومت کششی گاواهن کجساق افت می‌نماید. از جمله علل وقوع کاهش نیروی کشش می‌توان به کاهش فشار سربار از یکسو و نیز انتشار ترکهای کششی از سوی دیگر اشاره نمود. فرایند شکست خاک در طرح مرسوم گاواهن کجساق از اعماق شروع شده و ترکهای فشاری- برشی به سطح خاک گسترش می‌یابد. در طرح بهینه فرایند شکست خاک در جهت عکس از سطح به اعماق موجب انتشار ترکهای کششی می‌شود. وجود ترکهای کششی سبب ایجاد شکست ترد خاک شده که نیروی افقی مورد نیاز در این شکست به مراتب کمتر از شکست های فشاری - برشی خاک می‌باشد (۱).

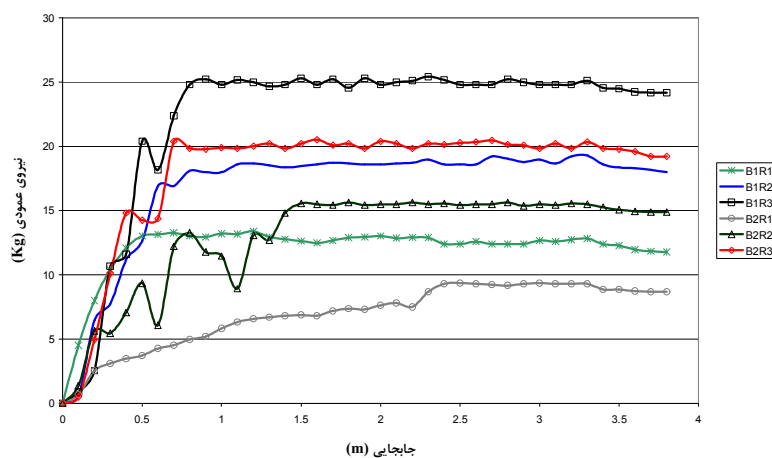
جدول ۲- اثر برهمکنش نوع تیغه و زاویه نفوذ (حمله) بر مقاومت کششی (آزمون دانکن)

میانگین \bar{X}	طرح جدید	طرح مرسوم	نوع تیغه
			زاویه حمله
۶۶/۷۹ ^A	۶۳/۷۳ ^d	۶۹/۸۶ ^c	۷/۵ درجه
۶۸/۵۱ ^A	۶۱/۱۰ ^e	۷۵/۹۳ ^b	۱۵ درجه
۷۲/۷۲ ^B	۶۱/۹۷ ^{de}	۸۳/۴۸ ^a	۲۲/۵ درجه
	۶۲/۲۶ ^B	۷۶/۴۲ ^A	میانگین \bar{X}

- * میانگین های (\bar{X}) با حروف بزرگ مشترک در ستون، از نظر آماری در سطح ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی داری ندارند.
- ** میانگین های (\bar{X}) با حروف بزرگ مشترک در ردیف، از نظر آماری در سطح ۱٪ با یکدیگر اختلاف معنی داری ندارند.
- *** میانگین های با حروف کوچک مشترک، از نظر آماری در سطح ۱٪ با یکدیگر اختلاف معنی داری ندارند.

۳-۲ نیروی عمودی

تغییرات نیروی عمودی وارد بر گاواهن کج ساق در طول حرکت تیغه بیانگر آن است که با افزایش کرنش پلاستیک در خاک به لحاظ حرکت تیغه، نیروی عمودی نیز زیاد شده و پس از شکست مقدار این نیرو پایدار و ثابت می گردد (شکل ۹). مقایسه مقادیر تثبیت شده نیروی عمودی نشان می دهد که مقدار نیروی عمودی هر تیمار طرح بهینه از تیمار مشابه خود در طرح مرسوم کمتر است. روند تغییرات به گونه ای است که حداقل نیروی عمودی وارد بر گاواهن در طرح بهینه و زاویه حمله ۷/۵ و بیشترین آن در طرح مرسوم و زاویه حمله ۲۲/۵ مشاهده می شود. از علل عمده وقوع این فرایند می توان به تغییر مکانیزم شکست خاک در طرح بهینه اشاره نمود. کاهش فشار سربار و انتشار ترکهای کششی از جمله علل مهم این فرایند می باشد.



شکل ۱۰- نمودار تغییرات نیروی عمودی در طول حرکت تیغه در خاک.

تجزیه واریانس نیروی عمودی پایدار شده گاواهن کج ساق نشان داد که زاویه حمله و نوع تیغه به احتمال ۹۹٪ بر نیروی عمودی موثر است (جدول ۳). همینطور اثر برهمکنش نوع تیغه و زاویه حمله بر نیروی عمودی توسط آزمون دانکن بیانگر آن است که کاهش زاویه حمله و نیز تغییر طرح گاواهن از طرح مرسوم به بهینه موجب کاهش نیروی عمودی می شود به گونه ای که کمترین عکس العمل عمودی در تیمار B₂R₃ مشاهده گردید.

جدول ۳- تجزیه واریانس نیروی عکس العمل عمودی

منابع تغییرات	df	SS	MS	F _s
تکرار	۲	۴/۱۲۰	۲/۰۶۰	۱/۶۱۸ ^{ns}
نوع تیغه (B)	۱	۴۳۷/۲۰	۴۳۷/۲۰	۳۴۳/۴۴ ^{**}
زاویه حمله (R)	۲	۸۹/۶۷	۴۴/۸۳۵	۳۵/۲۲ ^{**}
اثر متقابل (BR)	۲	۱۲۳/۲۰	۶۱/۶۰	۴۸/۳۹۰ ^{**}
خطا	۱۰	۱۲/۷۳۵	۱/۲۷۳۵	

** . وجود اختلاف معنی دار به احتمال ۹۹٪

^{ns} . عدم وجود اختلاف معنی دار

به منظور انتخاب تیمار مناسب بین دو تیمار B_2R_2 و B_1R_2 ، سطح زیر منحنی نیروی برآیند در مقابل جابجایی که معرف انرژی مصرف شده توسط گاواهن می باشد برای این دو تیمار محاسبه شد. انرژی مصرفی تیمار طرح بهینه در زاویه حمله 15° به اندازه ۱۴/۷٪ بیشتر از تیمار طرح بهینه در زاویه حمله $7/5^\circ$ می باشد. بنابراین از دیدگاه مصرف انرژی، زاویه حمله $7/5^\circ$ در طرح بهینه مناسب ترین تیمار معرفی می شود.

۳-۳ سطح مقطع خاک بر هم خورده و راندمان تخریب خاک

سطح مقطع خاک شکسته شده توسط یک دستگاه پروفیل متر و با تقسیم مساحت به تعدادی محدودی دوزنقه محاسبه گردید. مقدار سطح مقطع خاک برهم خورده برای کلیه تیمارها محاسبه شد. آنالیز واریانس نشان داد که زاویه حمله و نیز نوع تیغه گاواهن کجساق اثر معنی داری بر سطح مقطع خاک بر هم خورده ندارد. همین طور مقایسه میانگین ها به روش آزمون دانکن نیز اختلاف معنی داری بین تیمارها نشان نداد.

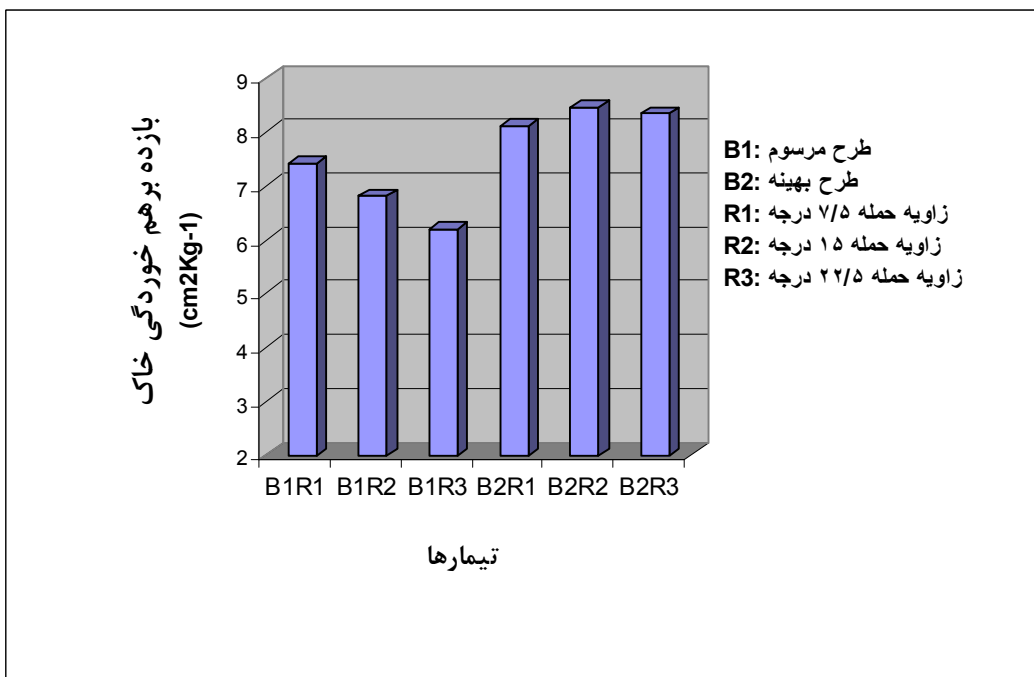
همان طور که قبلاً ذکر گردید راندمان تخریب (برهم خوردگی) خاک از تقسیم سطح مقطع خاک برهم خورده به نیروی کشش مورد نیاز محاسبه گردید. آنالیز واریانس راندمان بر هم خوردگی خاک نشان می دهد که زاویه حمله و نیز تغییر طرح گاواهن کجساق به طور معنی داری بر راندمان تخریب خاک موثر است (جدول ۴). شکل ۱۰ تغییرات راندمان بر هم خوردگی خاک در تیمارهای مختلف را نشان می دهد. شکل مزبور نشان می دهد که بیشترین بازده تخریب خاک در تیمار طرح بهینه گاواهن کجساق و در زاویه حمله 15° می باشد. به عبارت دیگر در تیمار B_2R_2 به ازای مصرف هر کیلوگرم نیروی کشش cm^2 از $8/2$ مقطع خاک شکسته شده و خرد می شود، حال آنکه برای تیمار مشابه در طرح مرسوم (B_1R_2) این مقدار به $6/7$ cm^2 کاهش می اید. با توجه به مطالب ذکر شده اگرچه از دیدگاه مصرف انرژی تیمار B_2R_1 کمترین مصرف را دارد اما بازده عملیات خاک ورزی در تیمار B_2R_2 بیشتر بوده و لذا توصیه می شود که از این تیمار به عنوان تیمار بهینه نام برد.

جدول ۴- تجزیه واریانس بازده برهم خوردگی خاک

منابع تغییرات	df	SS	MS	F _s
تکرار	۲	۰/۰۴۴	۰/۰۲۲	۱/۷۸۸۴ ^{ns}
نوع تیغه (B)	۱	۱۰/۱۵۸	۱۰/۱۵۸	۸۲۸/۴۴۶ ^{**}
زاویه حمله (R)	۲	۰/۷۷۹	۰/۳۸۹	۳۱/۷۶۰۱ ^{**}
اثر متقابل (BR)	۲	۱/۶۰۷	۰/۸۰۳	۶۵/۵۱۰۵ ^{**}
اشتباه	۱۰	۰/۱۲۳	۰/۰۱۲	

** . وجود اختلاف معنی دار به احتمال ۹۹٪

ns . عدم وجود اختلاف معنی دار



شکل ۱۰- تغییرات بازده برهم خوردگی خاک در تیمارهای مختلف گاواهن کج ساق

۳-۴- جرم مخصوص ظاهری (دانسیته) خاک

همانطور که قبلاً ذکر شد، جرم مخصوص ظاهری خاک در چهار محدوده عمق از نقاط مختلف انبار خاک بوسیله نمونه‌گیری قبل و بعد از عملیات شخم محاسبه گردید. آنالیز واریانس متوسط کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک نشان می‌دهد که تعویض طرح تیغه تأثیر معنی‌داری بر دانسیته داشته اما زاویه حمله فاقد تأثیر معنی‌دار بر عامل فوق می‌باشد (جدول ۴). اگر چه زاویه حمله تأثیر معنی‌داری بر کاهش دانسیته خاک ندارد اما مقایسه میانگین‌های جرم مخصوص ظاهری خاک شخم خورده نشان می‌دهد که بیشترین دانسیته خاک شخم خورده در بیشترین زاویه حمله وجود دارد. روند کاهش دانسیته خاک شخم خورده با کاهش زاویه حمله در طرح بهینه رویت نمی‌شود به طوری که کمترین دانسیته خاک شخم خورد در تیمار B_۲R_۲ مشاهده می‌گردد همچنین مقایسه داده‌های جرم مخصوص ظاهری خاک حاکی از آن است که بین دو تیمار B_۱R_۳ که دارای کمترین دانسیته در طرح مرسوم گاواهن بوده و تیمار B_۲R_۲ که کمترین دانسیته را در طرح بهینه دارد به میزان ۳۳/۴ درصد در جرم

مخصوص ظاهری خاک شخم خورده اختلاف مشاهده می شود (طرح بهینه کمتر است) به نظر می رسد که حداقل جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمار B_2R_2 به لحاظ واپیچشی خاک و ایجاد ترکهای کششی در خاک می باشد. به عبارت دیگر علاوه بر مصرف نیروی کشش کمتر و راندمان بیشتر عملیات خاکورزی، تیمار B_2R_2 دارای توانایی لازم در خرد کردن لایه های خاک را نیز می باشد.

جدول ۵- تجزیه واریانس دانسیته (چگالی) خاک شخم خورده

منابع تغییرات	df	SS	MS	F_s
تکرار	۲	۰	۰	۰/۰۱۵۲ ^{ns}
نوع تیغه (B)	۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۵/۰۲۵۶ ^{**}
زاویه حمله (R)	۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۱/۲۸۹۱ ^{ns}
اثر متقابل (BR)	۲	۰/۰۰۱	۰	۰/۲۲۰۹ ^{ns}
خطا	۱۰	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲	

^{**}. وجود اختلاف معنی دار به احتمال ۹۹٪

^{ns}. عدم وجود اختلاف معنی دار

نتیجه گیری

- ۱- طرح بهینه گاواهن کج ساق معرفی شده در تحقیق حاضر از لحاظ مصرف انرژی نسبت به طرح مرسوم آن مقرون به صرفه بوده که از مهمترین دلایل آن می توان به مکانیزم خاص شکست خاک در این طرح اشاره نمود.
- ۲- مقاومت کششی گاواهن کج ساق بهینه کمتر از نوع مرسوم آن بوده و کمینه مقاومت کششی در هر دو طرح در زاویه حمله $7/5^\circ$ مشاهده می شود.
- ۳- در کلیه تیمارهای آزمایش شده نیروی عمودی اعمالی به طرح بهینه گاواهن کج ساق از تیمار مشابه طرح مرسوم کمتر بوده به طوری که حداقل نیروی عمودی در طرح بهینه در کمترین زاویه حمله مشاهده می شود.
- ۴- محاسبه سطح زیر منحنی نیروی برآیند در مقابل جابجایی بیانگر آن است که کمترین میزان مصرف انرژی متعاقب به طرح بهینه گاواهن کج ساق و در کمترین زاویه حمله می باشد.
- ۵- برخلاف طرح مرسوم گاواهن کج ساق، در طرح بهینه حداکثر راندمان برهم خوردگی خاک در حداقل زاویه حمله رویت نشده بلکه تیمار طرح بهینه در زاویه حمله 15° دارای بیشترین بازده تخریب و برهم خوردگی خاک می باشد. نتایج نشان دهنده راندمان تخریب خاک بیشتری در طرح بهینه می باشد به طوری که بهترین تیمار طرح بهینه از لحاظ راندمان تخریب خاک، 14% بیش از بهترین تیمار طرح مرسوم در فرآیند شکست خاک موثر است.
- ۶- کمترین دانسیته خاک شخم خورده در طرح بهینه گاواهن کج ساق و در زاویه حمله 15° وجود دارد. حداکثر کاهش دانسیته خاک به اندازه $33/4\%$ در همین تیمار ملاحظه گردید.
- ۷- اگرچه از لحاظ میزان مصرف انرژی تیمار B_1R_1 در سطح حداقل مصرف انرژی قرار دارد اما می توان با تقبل هزینه $14/7\%$ انرژی بیشتر در تیمار B_2R_2 به خاکورزی مطلوب تری دست یافته و نیز از راندمان مصرف انرژی بیشتری برخوردار شد.



منابع مورد استفاده

- 1- Aluko, O . B. And D. A. Seig. 2000. An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle fracture in two dimensional soil cutting. *Soil and Tillage Research*. 57(3) : 143-157.
- 2- Anonymous, 1987. Ripping up hardpan without erosion. Alberta Report (January 5).
- 3- Chen, W.F. and E. Mizuno. 1990. *Nonlinear analysis in soil mechanics*. Elsevier Science, Amsterdam, 661 pp.
- 4- Durairaj, C. and M. Balasubramanian. 1997. A method for dynamic measurement of soil failure patterns caused by tillage tools. *Soil and Tillage Research*. 41: 115-121.
- 5- Durairaj, C. , M. Balasubramanian and K. Rangasamy. 1998. An assessment of soil structural changes induced by bentleg ploughs. *Soil and Tillage Research*. 49: 139-145.
- 6- Gueirf, J. , 1994. Effect of compaction on soil strength parameters. In: Soane, B . D., Van Ouwkerk, C. (Eds), *Soil compaction in crop production, Development in Agric. Eng . Series 11*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp.191-214.
- 7- Harrison, HP. And Z.J. Licsko 1989a. Soil reacting wrenches and dynamics for three models of bentleg plows. *Trans. of the ASAE*. 32(1). 50-53.
- 8- Harrison, HP. 1990 , Soil reaction for two tapered bentleg plow. *Trans. of the ASAE*. 30(1). 1473-1476.
- 9- Majidi Iraj, H. and M . H . Raoufat.1997. Power requirement of a bentleg plow and its effects on soil physical conditions. *Iran Agr . Res*. 16(1): 1-16.
- 10- Raoufat, M . H . and S . Firuzi. 1998. Field evaluation of dual bentleg plow. *Iran Agr . Res*. 17(1): 67-82.
- 11- Pidgeon, J . D. 1983. 'Paraplow'- A new approach to soil loosening. ASAE paper no. 83-2136. st. joseph, MI : ASAE.
- 12- Williams, M. 1981. Enter- A new kind of plow. *Power Farming Magazine* (October): 34-35.

Design, development and evaluation of a modified bentleg plow to increase energy usage efficiency

ABSTRACT: *The present study was conducted to design and develop a new shape of bentleg plow (BL) to economize energy usage. The main difference between modified and conventional BL plow is the direction of angle between cutting blade and the line perpendicular to the plow shank. Soil-bin tests were conducted to study the performance of the modified plow as compared to conventional one. The draft and vertical force requirement was measured for both designs at three rake angles (7.5°, 15° and 22.5°). Changes in draft force requirement, vertical force and soil physical properties including plowed soil bulk density and cross-sectional area of soil disturbed were measured and compared for both designs. Soil disturbance efficiency was also calculated for all treatments. Also the energy usage of each treatment was calculated. Draft force was significantly affected by blade type and rake angle and was minimum in modified BL plow at rake angle of 7.5°. Vertical force was significantly affected by blade type and rake angle, so the least energy consumer treatment was modified BL plow at minimum rake angle. Other results show that the modified bentleg plow is the most energy efficient treatment when operating at rake angle of 15°. Minimum Plowed soil bulk density was observed in the energy efficient treatment. The lower draft requirement, lower energy usage and considerable improvement in soil physical conditions would suggest adoption of modified bentleg plow as a replacement for conventional model; it is especially true where the soil suffers from excessive compaction.*

Keywords: *Modified bentleg plow; Soil bin; Deep tillage; Soil physical property*