نو آوری های ادوات خاکورز در راستای کشاورزی پایدار

محمد حسین رئوفت[۱]، زهرا کاوسی[۲]، حبیب اله مجیدی ایرج[۳]، امیدرضا روستاپور[۴]

۱- استاد بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲- دانشجوی دکتری رشته مکانیک ماشینهای کشاورزی، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز*

۳- محقق و هیات علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، خراسان رضوی

۴- محقق و هیات علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زرقان، فارس

* ایمیل نویسنده مسئول:Zkavoosi@shirazu.ac.ir

چکیده:

افزایش تردد ما شین آلات و ادوات در مزارع موجب ایجاد لایه های سخت و افزایش فر سایش آبی و بادی می شود. در این مقاله نتایج دو تحقیق مرتبط به هم، گزارش و مقایسه شده است. تحقیقات بر ساخت و ارزیابی مزرعه ای دو ابزار مناسب برای خاکورزی سطحی و عمیق، همراه با ملاحظات خاکورزی حفاظتی و پایدار متمرکز شده ا ست. در مطالعه اول یک گاوآهن کج ساق ساخته و عملکرد آن با یک گاوآهن برگرداندار مقایسه شد. در مرحله بعد یک دستگاه زیر شکن کج ساق ساخته شد و عملکرد آن با زیرشکن معمولی و ساقه خمیده در ایستگاه تحقیقاتی باجگاه، دانشگاه شیراز، ایران مقایسه گردید. هر دو آزمایش در سطوح مختلف عمق و زاویه حمله انجام گرفت. نتایج حاکی از آن بود که در عمق یک سان نیروی ک شش گاوآهن کج ساق ن صف گاوآهن برگرداندار می باشد، نفوذ پذیری بیشتری برای آب و هوا در خاک ایجاد و به دلیل باقی گذاشتن بقایای بیشتر (۷۷٪) روی سطح فرسایش خاک را تعدیل می کند. زیر شکن کج ساق کمترین نیاز به نیروی کشش به ازای هر ساق را دا شته و متو سط توان مصرفی برای زیر شکن های کج ساق، ساقه خمیده و معمولی به ترتیب ۵/۱۵ ، ۶/۰۹ و ۶/۶۸ کیلو وات به ازاء هر ساق در سرعت پیشروی ۱/۵ کیلومتر بر ساعت بدست آمد. مطالعات نشان داد که گاو اهن و زیر شکن کج ساق توانایی بهبود ویژگی های فیزیکی خاک و حفظ مقدار قابل توجهی بقایای گیاهی، فراتر از آستانه مورد نیاز کشاورزی حفاظتی، روی سطح را دارند.

واژگان کلیدی: خاکورزی، زیر شکن کج ساق، فرسایش، گاو آهن کج ساق، لایه سخت

مقدمه:

ادوات خاکورز نقش مهمی در کشاورزی پایدار به عهده دارند. اگرچه گاوآهن برگرداندار از اولین و رایج ترین ادوات خاکورز می باشد اما به نیروی کششی زیادی نیاز دارد و بقایای کمی روی سطح خاک باقی می گذارد. زیرشکن معمولی هم که برای شکستن لایه های سخت تحتانی خاک استفاده می شود، توان بسیار زیادی مصرف می کند. بنابراین ظهور ادوات جدیدی با ویژگی های اصلاح شده مورد نیاز می باشد که هم توان کششی کمتری مصرف کنند و هم شرایط خاک را بهبود بخشند. با افزایش تردد ماشین الات و تراکتورها به تدریج خاک ها متراکم گردیده و کیفیت آنها کاهش می یابد. در بسیاری از اراضی در عمق ۲۵ سانتی متری و پایین تر از آن معمولا یک لایه سخت[1] و غیر قابل نفوذ بوجود می آید که وجود این لایه موجب کاهش نفوذ پذیری خاک برای آب و هوا شده و رشد گیاهان را مختل می کند و عملکرد به تدریج کاهش می یابد. در عملیات خاکورزی که تخلخل خاک افزایش می یابد عموماً بقایای گیاهی سطحی نیز زیر و رو می شوند اما به دلیل اینکه بقایا خود عاملی جهت کنترل فرسایش بادی و آبی هستند در بسیاری مواقع این زیر و رو شدن بقایا و یا انتقال به خارج از مزرعه نه تنها مفید نبوده بلکه آسیب به خاک، عدم ذخیره نزولات و امحائ آنها آسیب به محیط زیست را موجب می گردد. بنابراین بایستی وسیله خاکورزی را به گونه ای انتخاب نمود که قادر باشد لایه سخت در عمق مورد نظر را شکسته، نفوذ پذیری مناسبی در خاک ایجاد کند و بقایای سطحی را نیز تا حد زیادی روی سطح خاک باقی بگذارد. پر واضح است که تمامی اهداف خاکورزی ایده آل از عهده گاوآهن برگرداندار خارج بوده و لازم به استفاده از ادواتی مثل گاو آهن قلمی و زیرشکن ها می باشد. از طرفی زیر شکن های معمولی مصرف انرژی بالایی دارند. بر اساس تحقیقات از دیگر معایب شکستن لایه های زیرین خاک تو سط زیر شکن های متداول، امکان ایجاد تراکم جدید در خاک و مخلوط نمودن خاک سطحی با خاک زیرین می باشد که ممکن است باعث ایجاد اثرات منفی گردد زیرا هوموس سطح خاک سودمندتر و حاصلخیزتر از هوموس خاک زیرین می باشد (Hakansson, 1987).

مطالعات بسیاری در خصوص فواید استفاده از گاوآهن برگرداندار و سایر ادوات خاکورز در افزایش نفوذ پذیری آب و هوا در خاک انجام شده و همه موٴید آن است که خاکورزی موجب افزایش میزان محصول می گردد. بر اساس مطالعات میلر و ارستد (۱۹۷۱)، ویسچمیر (۱۹۷۳) و اوسچوالد (۱۹۷۳) خاکورزی با استفاده از گاوآهن برگرداندار بدلیل افزایش پوکی خاک باعث افزایش هدایت هیدرولیکی خاک می شود. محققین متعددی نیز بر مفید بودن بقایای گیاهی در کنترل فرسایش خاک تاکید کرده اند(Harrold and Edward, 1972; Lal, 1976; Langdale, Barnett, Leonard and Fleming, 1979). بنا به گزارش پیجن (۱۹۸۳) گاوآهن پارا[2] ضمن نرم کردن خاک بقایای خوبی را روی سطح خاک نگه می دارد. در تحقیقی که توسط اوون (۱۹۸۹) انجام شد نیروی کشش زیر شکن با افزایش عمق کار بطور غیر خطی افزایش یافت اما سرعت اثر کمی بر مقاومت کششی نشان داد. در

[1] Hard pan
[2] Para plow

تحقیقی دیگر از دو مدل گاوآهن کج ساق یکی با زاویه تمایل ۳۰ درجه با دو زاویه حمله صفر و ۱۵ درجه و دیگری با زاویه تمایل ۴۵ درجه و زاویه حمله ۱۵ درجه برای مقایسه نیروی کشش مصرفی استفاده شد و نیروی کشش مصرفی گاوآهن کج ساق با زاویه تمایل ۳۰ درجه ۲۲ درصد بیشتر از گاوآهن کج ساق با زاویه تمایل ۴۵ درجه و عرض کار گاوآهن کج ساق با زاویه تمایل ۳۰ درجه ۳۷ درصد بیشتر از گاوآهن کج ساق با زاویه تمایل ۴۵ درجه بدست آمد (Harrison and Licsko, 1989). ریدر، وود و فینک (۱۹۹۳) پنج نوع زیرشکن را در اعماق ۲۸ سانتی متر و پایین تر ارزیابی کردند و ضمن مشاهده بهبود قالبیت نفوذ آب و هوا در خاک و افزایش عملکرد ذرت و لوبیای روغنی ا ستفاده از زیر شکن را مقرون به صرفه اعلام کردند. بنابر گزارش رئوفت و فیروزی (۱۳۷۵) در رابطه با ارزیابی مدل های دیگر از گاوآهن کج ساق، دو فاکتور عمق کار و زاویه حمله بر یکدیگر اثر متقابل داشتند، بین سطوح هر یک اختلاف معنی داری وجود داشت، بهترین زاویه حمله ۷/۵ درجه بود و خاکورزی با این گاوآهن در افزایش میزان نفوذ پذیری و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک نقش عمده ای داشت.

با توجه به اهمیت مصرف کمتر انرژی در عملیات کشاورزی تحقیقات متعددی در زمینه طراحی، ساخت و ارزیابی تعدادی از ادوات به منظور جایگزینی زیرشکن ها صورت گرفته است. یکی از این ادوات گاوآهن کج ساق[1]می باشد که طبق مطالعات انجام شده این گاوآهن، راندمان مصرف انرژی بهتری نسبت به ادوات مشابه خود دارا ست و ضمنا خاکورزی را هم با کیفیت بهتری انجام می دهد. با توجه به اینکه گیاهان دانه ای به مقدار مساوی با محصولاتشان بقایا نیز تولید می کنند و این امر سالانه موجب تولید مقادیر زیادی بقایای گیاهی شده که رابطه تنگاتنگی با کاهش فرسایش آبی- بادی و آلودگی محیط زیست دارد، بسیاری از کشاورزان برای خلاصی از بقایا آن ها را آتش می زنند. دراین مقاله نوآوری های انجام شده در ابزار خاکورزی که هم برای بهبود ویژگی های خاک و هم برای مدیریت بقایای گیاهی ابداع گردیده اند بررسی می گردد. ادوات جدید مقداری از بقایا را روی سطح خاک نگه می دارد و همچنین مزایای دیگری مانند صرفه جویی در مصرف انرژی و بهبود شرایط فیزیکی خاک را نیز در پی دارد. اگر خاکورزی به گونه ای باشد که حداقل ۳۰٪ از سطح زمین با بقایا پوشیده شده باشد به آن خاکورزی حفاظتی می گویند. چیزل ها، کج ساق ها و زیرشکن های کج ساق[2] نمونه های خوبی از ادوات خاکورز حفاظتی هستند.

گاوآهن چیزل در مقایسه با گاوآهن برگرداندار در عمق یکسان به نصف انرژی نیاز دارد (منصوری راد، ۱۳۶۸). این گاوآهن خاک را شکسته اما بر نمی گرداند و مقداری از کلوخه ها و بقایا را در سطح خاک باقی می گذارد و هنگامی که در عمقی بیش از عمق زراعی استفاده شود لایه سخت خاک را نیز می شکند که موجبات نفوذ بهتر آب و هوا را در خاک فراهم می کند. گاوآهن کج ساق شامل ساقه و تیغه ای مورب گوه ای شکل می باشد و در سه نوع تولید شده است. با زاویه تیغه ۳۰ و ۴۵ درجه که نوع ۴۵ درجه در دو مدل با زاویه نفوذ صفر و ۱۵ درجه ارائه شده اند. این گاوآهن نسبت به چیزل برتری هایی مانند بهبود شرایط فیزیکی خاک و

[1]Bentleg plow
[2] Bentleg Subsoiler

نیاز به توان کمتر را دارد. عوامل مختلفی در ایجاد تراکم خاک دخالت دارند که به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می شوند. عوامل طبیعی شامل ضربات ناشی از قطرات باران[1]، کشش داخلی آب[2] و خیس خوردن خاک[3] می باشد که عموماً در سطح خاک ایجاد تراکم می کند. تراکم مصنوعی در اثر تردد بی رویه ادوات چرخ دار سنگین بخصوص در مرحله تهیه زمین بوجود می آید. استفاده مداوم از گاو آهن برگرداندار موجبات تشکیل لایه سخت را فراهم می آورد. این عوامل موجب بوجود آمدن لایه ای سخت و نفوذ ناپذیر در عمق های کاری ۳۰ تا ۵۰ سانتی متری می شود و گاه در مواردی به دلیل عوامل طبیعی و تجمع رس در لایه های زیرین یک لایه سخت دیگر در خاک تشکیل می شود که وجود این لایه تا عمق یک متر هم گزارش شده است. شکستن لایه های سخت زیرین خاک توسط عملیات زیر شکنی روشی است که باعث اصلاح ساختمان خاک، کاهش تراکم و آبدوی سطحی و افزایش نفوذ آب و هوا به داخل خاک شده و شرایط لازم جهت نفوذ ریشه به داخل خاک را مهیا می کند. ادوات مرسوم خاکورز مانند گاوآهن برگرداندار قادر به تامین خواسته های یاد شده نمی باشد لذا بایستی از ادواتی مانند زیرشکن ها استفاده کردکه یکی از معایب آنها مصرف انرژی بالا می باشد. از دیگر ادواتی که جهت زیرشکنی طراحی و ساخته شده اند می توان به زیرشکن ساقه خمیده[4] اشاره کرد که انرژی نسبتا کمتری را مصرف می کند. گاوآهن کج ساق هم یکی از ادوات زیرشکن می باشد که نیاز به توان کمتری دارد.

در سالهای گذشته تلاش بسیاری توسط محققین و نویسندگان در زمینه تولید و ارائه ادوات خاک ورزی عمیق صورت گرفته اما در زمینه سود مندی و امکان بهره وری از این ادوات در جهت نیل به اهداف کشاورزی حفاظتی تلاشی صورت نگرفته است. در این مقاله ضمن اشاره به مراحل ساخت و ارزیابی مزرعه ای دو دستگاه خاکورز جدید عملکرد این ادوات از منظر کشت و کار حفاظتی که می توانند مشکل گشای نیازهای تهیه بستر در قالب کشاورزی حفاظتی باشند ارائه می گردد.

مواد و روش ها

در بخش اول یک دستگاه شامل دو واحد گاوآهن کج ساق با زاویه تیغه ۳۰ درجه در محل اتصال تیغه به ساقه و نسبت به محور افقی، و زاویه لبه برنده تیغه به میزان ۲۵ درجه جلوتر از امتداد محور ساقه ساخته شد (شکل ۱). در محل اتصال تیغه به ساقه نیز زاویه ای تحت عنوان زاویه نفوذ جهت تمایل و استقرار بهتر تیغه در خاک هنگام خاکورزی پیش بینی شد که این زاویه در حالت استاندارد ۱۵ درجه است اما در این تحقیق از زوایای ۷/۵ و ۱۵ و ۲۲/۵ درجه استفاده شد. عمق کار در این تحقیق ۲۵، ۳۵ و ۴۵ سانتی متر انتخاب شد. در مجموع ازمایش در ۹ تیمار و سه تکرار در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام گرفت.

[1] Rain fall impact
[2] Internal water tension
[3] Soaking
[4] Parabolic subsoiler

شکل۱- تیغه های راست گردان و چپ گردان گاوآهن کج ساق

همچنین از یک گاوآهن برگرداندار با عرض کار خیش ۹۰ سانتی متر در عمق ۲۵ سانتی متر بعنوان تیمار شاهد استفاده شد. عرض کار گاوآهن کج ساق در عمق ۲۵ سانتی متر ۴۳/۵ سانتی متر و در عمق های ۳۵ و ۴۵ سانتی متر ۴۷ سانتی متر بود. بعلت عدم تطبیق عرض کار دو گاوآهن کج ساق و برگرداندار جهت مقایسه نیروی کشش مورد نیاز، نیروی کشش ویژه برای عرض کار هر کدام محاسبه و اطلاعات حاصل از نیروی کشش در قالب آزمایش فاکتوریل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین ها به روش دانکن انجام شد. میزان بقایای قبل و بعد از عملیات مزرعه ای نیز اندازه گیری شد (مجیدی، ۱۳۷۴).

در ادامه یک دستگاه زیرشکن کج ساق با ابعاد ۱/۵ برابر گاوآهن کج ساق قبلی، طراحی و ساخته شد (شکل ۲). گاوآهن کج ساق جدید با حداکثر عمق کاری ۸۵ سانتی متر و زاویه حمله ۷/۵ درجه تنظیم شد و سپس نیروی کشش مصرفی و اثرات آن بر ویژگی های فیزیکی خاک با دو دستگاه زیرشکن معمولی[۱] و زیرشکن ساقه خمیده مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

[۱] Conventional subsoiler

شکل ۲- زیر شکن کج ساق راست ریز و چپ ریز

آزمایشات در دو سطح رطوبتی ۱۱٪ و ۱۷٪ بر اساس وزن خشک خاک انجام شد. رطوبت خاک فاکتور اصلی آزمایش و عمق کار در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی متر بعنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد و این آزمایش سه بار تکرار شد. تمامی آزمایشات در سرعت ثابت ۱/۵ کیلومتر بر ساعت انجام گرفت و برای اندازه گیری مقاومت کششی از لودسل[۱] استفاده شد (RNAM, 1983). زیرشکن مورد استفاده از نوع تک شاخ بازاویه حمله نوک تیغه ۳۰ درجه، عرض نوک گوه ۶۵ سانتی متر، ضخامت ساقه ۲/۵ سانتی متر و حداکثر عمق کاری ۵۰ سانتی متر بود.زیرشکن ساقه خمیده نیز دارای حداکثر عمق کاری ۵ سانتی متر بود که به صورت تک شاخه استفاده شد. ضمناً برای تنظیم عمق کار زیر شکن ها از چرخ تنظیم عمق استفاده گردید. شاخص مخروطی در عمق های کاری مختلف خاک قبل و بعد از بعد از عملیات خاکورزی بعنوان مشخصه ای از میزان نرم شدن خاک توسط دستگاه نفوذ سنج[۲] مخروطی اندازه گیری شد میزان بقایای قبل و بعد از عملیات مزرعه ای نیزاندازه گیری گردید (روستاپور، ۱۳۷۸).

نتایج :

نتایج ارزیابی گاوآهن کج ساق و مقایسه آن با گاوآهن برگرداندار نشان داد که افزایش عمق کار موجب افزایش نیروی کشش می شود و هر سه زاویه نفوذ با هم بطور معنی داری تفاوت داشتند. همچنین عمق نفوذ و زاویه نفوذ هم روی هم اثر متقابل داشتند و با توجه به نتایج بدست آمده توصیه می شود که هنگام خاکورزی عمیق زاویه نفوذ تیغه کوچکتر در نظر گرفته شود تا نیروی کشش

[۱] Load cell
[۲] Penetrometer

کمتر شود و در انرژی صرفه جویی شود. همچنین هر سه عمق مورد مطالعه تفاوت معنی داری بر نفوذ پذیری خاک نشان دادند در حالیکه زاویه نفوذ تفاوت معنی داری بر نفوذ پذیری خاک نداشـــتند. در واقع با افزایش عمق خاکورزی نفوذ پذیری خاک بهتر می شود. نتایج نشان داد که گاوآهن کج ساق نفوذ پذیری و تهویه خاک را نسبت به خاک شخم نخورده ۵ برابر می کند. همچنین نفوذ پذیری خاک پس از گاوآهن کج ساق نسبت به گاوآهن برگرداندار ۲ برابر بیشتر گردید. گاوآهن کج ساق حدود ٪۷۴ سطح خاک را د ست نخورده باقی می گذارد در حالیکه این ن سبت برای گاوآهن برگرداندار ٪۱۶ می با شد. خلا صه نتایج بد ست آمده در جدول شماره (۱) قابل مشاهده است. بدین ترتیب گاواهن کج ساق قابلیت نگهداری حدود ٪۷۵ از بقایای گیاهی را دارد. این مهم با توجه به کافی بودن حدود ٪۳۰ پوشش خاک برای دسترسی به مزایای خاکورزی حفاظتی قابل توجه می باشد.

جدول ۱- نیروی کشش ویژه، توان و میزان نفوذ اب در خاک برای گاوآهن های کج ساق و برگرداندار

خیش و عمق کار	کشش ویژه kN/m^2	توان مورد نیاز kW	نفوذ پذیری آب در ۴۵ دقیقه cm
کج ساق ۲۵ cm	۹/۵۹^{c}	۲/۳۲^{d}	۶/۲۱^{c}
کج ساق ۳۵ cm	۱۷/۹۰^{b}	۴/۶۸^{c}	۹/۹۱^{b}
کج ساق ۴۵ cm	۲۶/۹۹^{a}	۷/۰۵^{b}	۱۱/۷۹^{a}
برگرداندار ۲۵ cm	۱۹/۱۴^{b}	۹/۵۷^{a}	۵/۹۰^{c}
قبل از خاکورزی	...	...	۲/۳۷^{d}

میزان بقایای ســطحی باقی مانده بعد از بکارگیری گاوآهن کج ســاق بســیار بیشــتر از بقایای باقی مانده بعد از شــخم با گاوآهن برگرداندار ا ست. ضمناً میزان بقایای سطحی پس از شخم با گاوآهن کج ساق مستقل از تغییرات عمق خاکورزی و زاویه نفوذ می باشد و میزان بقایای به جا مانده پس از خاکورزی با گاوآهن کج ساق جهت کنترل فرسایش خاک با توجه به آستانه پوشش گیاهی برای کشاورزی حفاظتی بالاتر از مقدار لازم است کافی به نظر می رسد.

سه نوع از گاوآهن کج ساق ساخته شده است. کج ساق منفرد[۱] ، کج ساق دوبل[۲]و کج ساق زیرشکن[۳] که استفاده از این ادوات نیاز به توان کمتری دارد و احتیاج به تراکتورهای سنگین را مرتفع می سازد. نتایج بد ست آمده از تجزیه واریانس مقادیر نیروی کشش به ازای هر ساق زیرشکن نشان می دهد که اختلاف معنی داری (در سطح ٪۱) بین دو سطح رطوبت، نوع دستگاه زیرشکن و عمق خاکورزی از نظر نیروی ک شش وجود دارد. نتایج حاکی از افزایش نیروی ک شش با کاهش رطوبت خاک از ٪۱۷ به ٪۱۱ می با شد زیرا هرچه خاک خشک تر باشد همدوستی بین ذرات خاک بیشتر است (جدول ۲).

[۱] Single bentleg
[۲] Dual bentleg
[۳] Bentleg subsoiler

جدول ۲- قدرت مورد نیز به ازاء هر ساق زیرشکن جدید در دو سطح رطوبت

درصد رطوبت بر اساس وزن خشک خاک	قدرت مصرفی به ازاء هر ساق زیرشکن(kW/leg)
۱۷٪	۴/۷۹
۱۱٪	۷/۱۶

همچنین با افزایش عمق خاکورزی به دلیل افزایش وزن لایه های خاک، به طور طبیعی نیز خاک متراکم تر گردیده و دانسیته آن افزایش می یابد و در نتیجه نیروی کشش افزایش می یابد (جدول ۳).

جدول ۳- قدرت مورد نیاز به ازاء هر ساق زیرشکن در عمق های مختلف خاکورزی

عمق خاکورزی (سانتی متر)	قدرت مصرفی با ازاء هر ساق زیرشکن (kW/leg)
۳۰	۴/۱۱
۴۰	۵/۹۲
۵۰	۷/۹

بر اساس جدول (۴) زیرشکن کج ساق کمترین و زیرشکن معمولی بیشترین نیروی کششی به ازاء هر ساق را نیاز دارد.

جدول ٤- قدرت مورد نیاز به ازاء هر ساق برای سه زیر شکن مورد مطالعه

نوع دستگاه خاکورز	قدرت مصرفی با ازاء هر ساق زیرشکن (kW/leg)
زیر شکن ساقه خمیده	۶/۰۹
زیرشکن کج ساق(جدید)	۵/۱۵
زیر شکن معمولی	۶/۶۸

همچنین مقایسه بین میانگین های مقادیر به د ست آمده شاخص مخروطی پس از عملیات زیر شکنی تو سط سه زیر شکن در دو سطح رطوبت ن شان می دهد که مقدار شاخص مخروطی در عملیات زیر شکنی در سطح ۱۱٪ ب صورت معنی داری کمتر از میزان این پارامتر در رطوبت ۱۷٪ می با شد زیرا خاک در رطوبت پایین تر خشک تر بوده و شکنندگی بی شتری دارد و با حرکت زیر شکن در خاک میزان خردشدگی بیشتر می باشد و در نتیجه مقاومت به نفوذ خاک کاهش بیشتری می یابد. مقایسه میانگین های شاخص مخروطی در اعماق مختلف حاکی از این اســت که با افزایش عمق کار میزان این پارامتر در ســطح معنی داری افزایش می یابد. همچنین میزان شاخص مخروطی اندازه گیری شده بعد از خاکورزی با زیر شکن کج ساق در سطح معنی داری بی شتر از مقادیر مربوط به دو زیر شکن دیگر می با شد. اما شاخص مخروطی دو د ستگاه زیر شکن معمولی و زیر شکن با ساقه خمیده تفاوت معنی داری ندارند در نتیجه زمین خاکورزی شده توسط زیرشکن کج ساق دارای کلوخه های بزرگتری بوده و خاک کمتر خرد شده است. اما در زیر شکن معمولی و زیر شکن ساقه خمیده میزان خرد شدگی و به هم خوردن خاک بی شتر می با شد که به دلیل وجود نوک

گوه ای در دو نوع زیر شکن یاد شده می با شد. میانگین شاخص مخروطی ایجاد شده تو سط گاوآهن کج ساق ۱۳۳۰، زیر شکن معمولی ۱۰۳۷ و زیر شکن ساقه خمیده ۱۰۵۳ کیلوپا سکال بد ست آمد. سطح مقطع به هم خورده خاک هم به ترتیب از زیر شکن معمولی به زیرشکن ساقه خمیده و زیرشکن کج ساق کاهش می یابد.

نتیجه گیری :

نتایج حاصله از آزمایشات مزرعه ای بیانگر دستاورد های ذیل می باشد:

۱. گاوآهن کج ساق نفوذ پذیری و تهویه خاک را نسبت به خاک شخم نخورده ۵ برابر و نسبت به گاوآهن برگرداندار ۲ برابر می کند.
۲. دست نخوردن درصد بالائی از پوشش گیاهی و بقایای کشت قبلی استفاده از این ادوات را در کشاورزی حفاظتی بگونه ای جدی توجیه می نماید.
۳. کاهش رطوبت خاک و افزایش عمق کار موجب کاهش شاخص مخروطی خاک و در نتیجه افزایش توان مصرفی می شود.
۴. زیر شکن کج ساق بر حسب اندازه دستگاه می تواند جایگزین مناسبی برای گاو آهن برگرداندار ویا زیر شکن های رایج باشد.
۵. بکارگیری ادوات معرفی شده کاهش قابل توجهی در توان تراکتوری مور نیاز تا حد ۵۰٪ ، و بهبود تمامی ویژگی های فیزیکی خاک می گردد.

تو صیه می شود عملیات زیر شکنی در رطوبت های پایین انجام و به دلیل تولید کلوخه های بزرگ پس از زیر شکنی با کج ساق توصیه می شود این کار اواخر تابستان و بعد از برداشت محصول انجام شود تا کلوخه ها طی فصل سرما و بارندگی خرد شده و عملیات تهیه زمین برای کشت بعدی به نیروی کمتری نیاز داشته باشد.

منابع:

Hakansson, I. 1987. Long term effects of modern technology on productivity of arable land. K Skogs-o Lantbr Akad Tidskr 126: 35-40.

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

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

Harrold, R. R., and Edwards, W. M. 1972. A sever rainstorm test of no-till corn. Journal of Soil Water Conservation: 27-30.

Lal, R. 1976. No-tillage effect on soil properties under different crops in Wastern Nigeria. Soil Science Society of America 40: 702-708.

Langdale, G.S., Barnett, A. P., Leonard, R. A., and Fleming, G. W. 1979. Reduction of soil erosion by the no-tillage system in the Southern Piedmont. Transactions of the ASAE 22(1): 82-86 and 92.

Majidi Iraj, H. and M. H. Raoufat (1997). Power requirement of a bentleg plow and its effect on soil physical conditions. IAR 16 (1): 1-16.

Miller, D. E., and Arstad, J. S. 1971. Furrow infiltration rates as affected by incorporation of straw or furrow cultivation. Soil Science Society of America Journal 35: 492-495.

Oschwald, W. R. 1973. Chisel plow and strip tillage systems. Soil Conservation Society of America. Ankeny, IA. 194-202.

Owen, G.T. 1989. Force-depth relationships in a pedogenetically compacted clay loam soil. Applied Engineering in Agriculture 5(2): 185-191.

Pidgeon, J. D. 1983. “Para plow” A new approach to soil loosening. ASAE paper 82: 2136.

Raoufat, M.H. and Firuzi, S. 1998. Field evaluation of a dual bentleg plow. Iran Agriculture Research 17(1): 67-82.

Reeder, R.C., Wood, R.K., Fink, C.L. 1993. Five subsoiler designs and their effects on soil properties and crop yields. Trans. ASAE 36(6): 1525-1531.

Regional network for agricultural machinery. 1983. RNAM test codes and procedures for farm machinery. Technical series No. 12. Philippines.

Roosta Poor, O. R. and M. H. Raoufat (2004). Design, development and field evaluation of a deep bentleg subsoiler as compared to conventional and curved subsoilers. Proceedings of the third NCAME, Kerman, Iran.

Wischmeier, W. H. 1973. Conservation tillage to control water erosion. Soil Conservation Society of America, Ankeny. IA. 133-141.