بررسی اثر کاربرد گاوآهن برگرداندار مرکب بر شکست سخت لایهٔ شخم[1]

ارژنگ جوادی و مرتضی شهیدزاده[2]

تاریخ دریافت مقاله: ٨٣/٨/٢٦ تاریخ پذیرش مقاله: ٨٤/٧/١٧

چکیده

امروزه استفاده از ماشین‌های مرکب در سیستم‌های خاک‌ورزی جدید یک ضرورت محسوب می‌شود. گاوآهن‌های برگرداندار، در حال حاضر در کشور ما بدون بررسی‌های قبلی به طور وسیع در عملیات تهیهٔ زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. بررسی ها نشان می‌دهد که کاربرد این ادوات در بسیاری از موارد منجر به ایجاد لایهٔ متراکم، یا به عبارت دقیق‌تر، سخت لایهٔ شخم (Plow pan) می‌شود که اغلب برای شکست آن مشابه با سخت لایهٔ (Hard pan) از ادواتی عمیق مانند زیرشکن استفاده می‌کنند. هدف از تحقیق حاضر اجرای عملیات در عمق مورد نیاز برای شکست همزمان در عملیات شخم با اصلاح گاوآهن‌های برگرداندار متداول بود. بدین منظور با قرار دادن ساقه‌هایی مشابه با گاو آهن‌های چیزل به پشت خیش‌های گاوآهن برگرداندار ماشین مرکبی ساخته شد به نحوی که در عرض و عمقی حدود ٧ تا ١٠ سانتی‌متر عمیق‌تر از تیغه گاوآهن برگرداندار، عمل کند و کفهٔ شیار شخم را تحت تاثیر قرار دهد. ماشین مرکب در قالب آزمون آماری (t -Test) با گاوآهن برگرداندار متداول مورد مقایسه و آزمون مزرعه‌ای قرار گرفت. بافت خاک مزرعه لومی بود و آزمایش‌ها در رطوبت ١٢-١٤ درصد انجام گرفت. پارامترهایی نظیر جرم مخصوص ظاهری، مقاومت به نفوذ، پروفیل گسیختگی خاک، مساحت خاک به هم خورده، مقاومت کششی و مقاومت کششی ویژه اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که ماشین مرکب، در مقایسه با گاوآهن برگرداندار ساده، می‌تواند سخت لایهٔ شخم را تحت تأثیر قرار دهد؛ دو تیمار، در اغلب صفات مورد اندازه‌گیری اختلاف معنی‌دار داشته‌اند. آزمایش‌ها همچنین نشان داد که ماشین مرکب می‌تواند جرم مخصوص ظاهری و مقاومت به نفوذ را در محدودهٔ عمق ٢٠-٣٠ سانتی‌متری که محل تشکیل سخت لایه شخم است کاهش و همچنین گسیختگی خاک را در محدودهٔ مذکور افزایش دهد. از طرف دیگر، ماشین مرکب موجب افزایش ١٥درصد مقاومت کششی می‌شود ولی با ایجاد مساحت خاک به هم خوردهٔ بیشتر، این اختلاف در مقاومت کششی ویژه به ٦ درصد بین دو تیمار می‌رسد.

واژه‌های کلیدی

ادوات مرکب، تهیه زمین، خاک‌ورزی اولیه، سخت‌لایه شخم، کفه شخم، گاوآهن برگرداندار

١- برگرفته از طرح تحقیقاتی مصوب مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به شمارهٔ ٨٢٠٢٠-٢٠-١٠٧

٢- به ترتیب اعضای هیأت علمی (استادیار پژوهش) مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ص پ ٨٤٥-٣١٥٨٥، تلفن: ٠٢١-٣١٣٠٠٧٨ ، پیام نگار: email2arzhang@yahoo.com و عضو هیأت مدیره بانک کشاورزی و عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

مقدمه

کاهش عملیات خاک‌ورزی و تردد ادوات در مزرعه، بنا به تأثیرات معنی‌داری که بر انرژی مصرفی، هزینه‌های جاری، و ساختمان خاک دارند، امروزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گاوآهن‌های برگرداندار را کشاورزان از مدت‌ها پیش در کشور ما به طور وسیع و تقریباً در اغلب شرایط بدون توجه به نوع خاک، اقلیم، زراعت، و محصول به کار می‌گرفتند. مطالعات و مستندات نشان می‌دهد که درجهٔ بالایی از مکانیزاسیون در کشور ما به عملیات خاک‌ورزی بر می‌گردد که در آن استفاده از گاوآهن برگرداندار در بیش از ۹۰ درصد از اراضی زیر کشت رقم چشمگیری را به خود اختصاص می‌دهد. تعداد این گاوآهن‌ها تا سال ۸۲ نیز حدود ۲۳۰ هزار دستگاه برآورد شده است [۱ و ۸]. از این رو برای بهبود عملیات خاک ورزی با آنها باید تمهیداتی اندیشید و هرگونه تغییر و بهینه‌سازی قطعاً می‌تواند خیلی زود مورد استقبال وسیع قرار گیرد.

اختراع برخی از ماشین‌هایی که عملیات خاک‌ورزی توأم را انجام می‌دهند از بیش از صد سال قبل مورد توجه بوده است که می‌توان به ماشین مرکب از گاوآهن چیزل با خاک همزن، دیسک با ماله، یا غلتک با گاوآهن چیزل اشاره کرد [۳ و ١٦].

لغوی و حسین پور (۱۳۸۱) طی تحقیقی یک دستگاه غلتک خاک نشان عمیق را به گاوآهن برگرداندار به منظور اجرای توأم عملیات خاکورزی اولیه و ثانویه الحاق کردند. بررسی آنها نشان داد که میانگین مقادیر مقاومت کششی، توان مالبندی، و قطر متوسط کلوخه‌های ایجاد شده با گاوآهن مرکب به طور معنی‌داری کمتراز مقادیر مشابهی است که در اجرای دو عملیات جداگانه با گاوآهن برگرداندار و دیسک تاندوم ایجاد می‌شود، همچنین پروفیل سطحی بستر ایجاد شده با گاوآهن مرکب به طور معنی‌داری هموارتر از پروفیل سطحی ایجاد شده با گاوآهن و دیسک است [۷ و ۱۲].

از مدت‌ها پیش نیز از گاوآهن چیزل به طور ترکیبی با ادوات خاک ورزی ثانویه همانند دیسک استفاده شده است؛ در این ماشین، بازوهای چیزل در ترکیب با دیسک دارای بشقاب‌های تخت یا مقعر، یا در ترکیب با پیش برهای دوار برای برش بقایای سطحی به کار گرفته شده‌اند [۲].

گاوآهن‌های چیزل همچنین در ترکیب با پشته سازها[1] در انواع دیسکی یا بالدار و در جلو آنها به منظور شکستن خاک استفاده شده است [۵].

در تحقیق دیگری، قضاوی (۱۳۷۷) گاوآهن مرکبی به‌صورت ترکیب گاوآهن بشقابی سه خیش سوار شونده و گاوآهن قلمی ساخت و پس از ارزیابی نتیجه گرفت که دستگاه مذکور می‌تواند ابزار مناسبی برای مناطق مختلف کشاورزی ایران باشد که ضمن عملیات خاک‌ورزی، مشکل نفوذ نیافتن بشقاب‌های گاوآهن بشقابی در خاک و نیز فرسایش خاک را برطرف کند [٦].

ماشین‌های مرکب خاک ورزی ثانویه نیز مورد توجه بوده و کاربرد بسیاری در مزارع داشته‌اند که می‌توان به ترکیب کولتیواتور با غلتک یا چنگهٔ دندانه میخی با غلتک اشاره کرد [١٦].

جوادی (۲۰۰۵b) نیز ماشین مرکبی برای خاک‌ورزی ثانویه متشکل از دیسک و غلتک ساخت و آن را ارزیابی کرد. آزمایش‌ها نشان داد که این

1- Bedders

ماشین مرکب توانسته است سطح هموارتری از خود در مزرعه به جا گذارد و باعث کاهش دفعات دیسک زنی شود ولی کشش مورد نیاز به طور معنی‌دار افزایش یافت.

جوری (Jori, 2002) اعلام کرد که برای سیستم‌های خاک‌ورزی جدید و پایدار باید از ماشین‌های جدید مرکب مانند دیسک با کولتیواتور یا ریپر یا چیزل استفاده شود. وی در تحقیق خود ابعاد مناسب بازوهای چیزل یا ریپر را تعیین کرد و نتیجه گرفت که زاویهٔ حملهٔ تیغه ۲۵ درجه، طول ۲٤۰ میلی‌متر عرض ۸۰ میلی‌متر بهترین حالت است.

طی تحقیق دیگری درترکیه اثر برخی از ماشین‌های خاک‌ورزی مرکب برخرد شدن خاک، خلل و فرج، و نرم شدگی سطحی بررسی شده است. در این تحقیق ماشین‌های مرکبی شامل هرس دندانه میخی با دیسک، دیسک با غلتک، و کولتیواتور با هرس دندانه میخی مورد استفاده و آزمون قرار گرفت.

اسپور و گادوین (Spoor & Godwin, 1978) طی تحقیقی با قرار دادن دو تیغهٔ سطحی در دو عمق ۱٦ و ۲٤ سانتی‌متر در جلو تیغهٔ اصلی، نوعی زیرشکن مرکب ساختند. نتایج نشان داد که این امر موجب کاهش مقاومت کششی و افزایش سطح به هم خورده خاک می‌شود. همچنین میلکد و همکاران (Milked *et al.*, 1994) با قرار دادن یک تیغهٔ سطحی بالدار به عرض ۳۰ سانتی‌متر جلو تیغه‌های اصلی ماشین مرکبی ساختند و آن را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که اضافه شدن تیغهٔ بالدار سطحی در کلیهٔ تیمارها باعث افزایش گسیختگی خاک می‌شود وعمق بحرانی نیز بهبود می‌یابد.

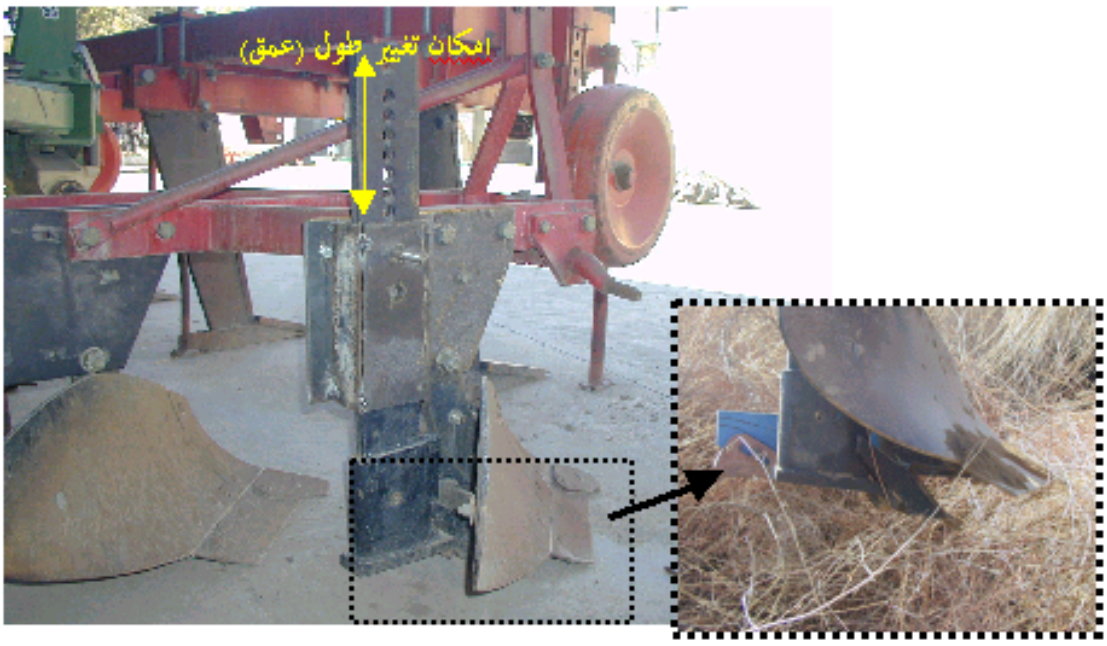
بریکاس و همکاران (Brikas *et al.*, 2004) در جدیدترین تحقیقات شکل‌گیری سخت لایهٔ شخم را در اثر عملیات مستمر شخم تأیید و اعلام کرده‌اند که ممکن است طی ۵ سال این سخت لایه به سخت لایه عمقی تبدیل شود. با توجه به نتایج، هدف اولیه از این تحقیق تغییر در ساختمان گاوآهن‌های برگرداندار و ساخت گاوآهنی مرکب است که بتواند در عمق صحیح، سخت لایهٔ شخم را بشکند و از این طریق موجب جلوگیری از استفاده گاوآهن برگرداندار و زیرشکن‌ها به طور مجزا، جلوگیری از عملیات زیرشکن زنی در عمق غیر ضروری، حفظ ساختمان خاک و ایجاد بستر مناسب در خاک اولیه برای رشد و توسعه ریشهٔ گیاه شود.

مواد و روش‌ها

- مشخصات فنی و ساختاری ماشین مرکب

در این تحقیق به منظور دستیابی به هدف شکستن همزمان سخت لایهٔ شخم در هنگام عملیات شخم با گاوآهن برگرداندار، ماشین جدید مرکبی متشکل از بازوهایی مشابه با گاوآهن چیزل درعقب خیش‌های گاوآهن برگرداندار ساخته شد و مورد بررسی مزرعه‌ای قرار گرفت [۹]. این بازوها به نحوی تعبیه شدند که قادر به گسیختن خاک در زیر عمق کارکرد گاوآهن برگرداندار تا حدود ۳۰-۳۵ سانتی‌متری باشند. از این رو، حرکت این بازوها و درگیری با خاک در شیار شخم و در پشت خیش‌ها، فقط در محدودهٔ عمقی بین ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر عمیق‌تر از خیش‌ها در نظر گرفته شد. لذا در این ماشین شکل تیغه در بازوی الحاقی با توجه به درگیری آن با خاک، در مقایسه

با بازو اهمیت بیشتری دارد. با توجه به سست کردن سخت لایهٔ شخم خاک که هدف اصلی تحقیق حاضر بود، تیغه‌های قلمی که کاربرد وسیع‌تری در این امر دارند، برای عرض برشی حداقل معادل ۵-۷ سانتی‌متر انتخاب گردید. با تغییر در شاسی گاوآهن متداول برگرداندار، نصب بازوها و امکان تغییر عمودی آنها میسر شد (شکل شمارهٔ ۱).



شکل شمارهٔ ۱- ماشین ساخته شده به همراه شاسی و محل قرار گیری بازوی الحاقی

- محل و مشخصات عمومی آزمایش

آزمایش‌های مزرعه‌ای به منظور بررسی و مقایسهٔ عملکرد ماشین مرکب با گاوآهن برگرداندار متداول در مزرعه چهارصد هکتاری شهرک نهال و بذر واقع در ۳ کیلومتری جنوب غربی کرج اجرا شد. بافت خاک، لومی (نزدیک به لومی- رسی) و رطوبت آن ۱۲-۱٤ درصد اندازه‌گیری و سرعت ماشین در حین کار ۲-۳ کیلومتر در ساعت (متداول عملیات شخم) تعیین شد. جدول شمارهٔ ۱ سایر مشخصات خاک مزرعه را نشان می‌دهد. ابعاد کرت‌ها ۳۰×۱۰ متر مربع و مزرعه دارای بقایای ساقه گندم سال قبل بود.

تیمارها عبارت بودند از گاوآهن برگرداندار مرکب و گاوآهن برگرداندار معمول به عنوان شاهد که با توجه به وجود دو تیمار نتایج در قالب آزمون تی (t-test) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مشخصات فنی ماشین‌ها و قطعات به کار رفته در هر دو تیمار در جدول شمارهٔ ۲ داده شده است.

جدول شمارهٔ ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی مورد آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	درصد اشباع	هدایت الکتریکی ($EC \times 10^3$)	درصد کربن آلی	فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون قسمت)	پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون قسمت)	pH	بافت خاک	درصد اجزای بافت		
								شن	سیلت	رس
۲۵-۰	۴۱/۱۷	۱/۲۷	۰/۴۸	۲۱/۳	۲۷۲/۷	۷/۳	لومی	۳۱/۹۴	۷۴/۷۶	۲۴/۲۷
۵۰-۲۵	۳۹/۱۸	۱/۱۰	۰/۳۵	۱۳/۷	۲۱۳/۳	۷/۵				

جدول شمارهٔ ۲- مشخصات فنی ماشین‌های مورد استفاده در تحقیق

نوع ماشین	مشخصات فنی
گاوآهن برگرداندار	مدل آهنگری خراسان – سوار شونده ۳ خیش – عرض کار ۹۰ سانتی‌متر – حداکثر عمق کارکرد ۲۵ سانتی‌متر – خیش ساده – وزن ۳۴۰ کیلوگرم – فاصله شاسی تا زمین ۶۱ سانتی متر
بازوهای الحاقی	بازوی‌عمودی– ارتفاع قابل تنظیم - زاویهٔ حملهٔ تیغه ۲۰ درجه- عرض مؤثر برش ۵-۷ سانتی‌متر- عمق کارکرد ۷-۱۰ سانتی‌متر عمیق تر از تیغهٔ خیش- وزن هر بازو ۳۳ کیلوگرم

- پارامترهای مورد اندازه‌گیری

کلیه پارامترها در سه تکرار قبل و بلافاصله بعد از عملیات به شرح زیر اندازه‌گیری شد:

- **درصد رطوبت خاک:** درصد رطوبت در اعماق ۰-۳۰ سانتی‌متر از طریق نمونه برداری تعیین شد. بدین منظور ابتدا چند روز قبل از اجرای آزمایش کلیهٔ کرت‌های آزمایشی آبیاری شدند. نمونه‌های تهیه شده ابتدا به صورت مرطوب وزن و بعد به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس با توزین مجدد نمونهٔ خشک شده درصد رطوبت محاسبه گردید. سعی شد که اجرای آزمایش بین رطوبت توصیه شده برای گاوآهن برگرداندار (۱۴-۱۶ درصد) و چیزل (۱۰-۱۲ درصد) یعنی در حدود ۱۲-۱۴ درصد باشد.

- **جرم مخصوص ظاهری:** جرم مخصوص ظاهری بر مبنای خشک با استوانه‌های نمونه‌گیر به ارتفاع و قطر ۵ سانتی‌متر از اعماق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی‌متر در سه تکرار قبل و بعد از اِعمال تیمارها تعیین شد. نمونه‌گیری بعد از اِعمال تیمارها در خاک شخم خورده و وسط شیار شخم انجام گرفت.

- **مقاومت به نفوذ خاک:** مقاومت به نفوذ با دستگاه فروسنج مخروطی مدل ۱۵/۰۶ ساخت شرکت ایج کمپ[1] اندازه‌گیری شد. دستگاه مذکور از جدیدترین ابزارهای اندازه‌گیری مقاومت به نفوذ است که این متغیر را مستقیماً در واحد مگاپاسکال (نیوتن بر

1- Eijkamp

میلی‌متر مربع) نشان می‌دهد. حداکثر عمق قابل استفاده از دستگاه ۸۱ سانتی‌متر و حداکثر مقدار فشار نیز ۱۰ مگاپاسکال است. جهت انجام این تحقیق از مخروط با زاویه رأس ۳۰ درجه و قطر قاعده ۱۲/۸۳ میلی‌متر استفاده شد که بر اساس توصیهٔ استاندارد انجمن مهندسین کشاورزی آمریکاست. اندازه‌گیری‌ها در ۱۰ نقطه از هر پلات قبل و بعد از اعمال تیمارها در مسیر بازوها تا عمق ۳۰ سانتی‌متری صورت گرفت.

- **مقاومت کششی:** برای اندازه‌گیری مقاومت کششی از روش RNAM استفاده شد [۱۵]. دینامومتر کششی به منظور اطمینان از صحت کارکرد با وزنه‌های مشخص آویزان شده به دینامومتر کالیبره شد. برای اندازه‌گیری مزرعه‌ای، دینامومتر با زنجیر بین تراکتور جلویی (جان‌دیر مدل ۳٤٥۰ با قدرت ۱٤۰ اسب بخار) به عنوان کشنده و تراکتور عقبی (جان‌دیر مدل ۳۱٤۰ با قدرت ۱۱۰ اسب بخار) به عنوان حامل ادوات به صورت کاملاً افقی قرار گرفت. اندازه‌گیری‌ها پس از حرکت تراکتورها با دنده دو و رسیدن دور موتور به ۱٦۰۰ در دقیقه یکنواخت صورت گرفت.

- **پروفیل گسیختگی خاک:** برای تعیین اثر ماشین مرکب بر سخت لایهٔ شخم و همچنین کنترل صحت عرض و عمق برش تیغه الحاقی لازم بود سطح مقطع شیار شخم با برش عمودی مشخص شود. بدین منظور، از ابزاری به نام پروفیل‌متر استفاده شد که متشکل از میله‌هایی آلومینیومی بود که با قرار گرفتن روی شیار شخم شکل مقطع را به خود می‌گرفتند و با سفت کردن پیچ‌ها ثابت می‌شدند که با انتقال و اندازه‌گیری طول میله‌های جا به جا شده، پروفیل گسیختگی هر یک از تیمارها رسم شد. این کار حداقل در سه تکرار برای هر کرت صورت گرفت.

- **سطح خاک به هم خورده:** با توجه به اهمیت میزان خاک به هم خورده در استفاده از ادوات خاک‌ورزی، این پارامتر نیز از طریق روش انتگرال‌گیری با استفاده از داده‌های پروفیل گسیختگی برای دو تیمار تعیین شد تا امکان محاسبهٔ مقاومت کششی ویژه نیز میسر شود.

- **مقاومت ویژه کششی**[1]: تعیین مقاومت کششی به تنهایی نمی‌تواند معیار کافی برای ارزیابی ادوات خاک‌ورزی باشد و لازم است تأثیر بر خاک نیز مدنظر قرار گیرد، لذا مقاومت ویژهٔ کششی که از تقسیم مقاومت کششی به سطح خاک به هم خورده به دست می‌آید نیز تعیین و تحلیل شد.

نتایج و بحث

- جرم مخصوص ظاهری

نتایج نشان داد که ماشین مرکب توانسته است در محدوده عمقی پایین‌تر از ۲۵ سانتی‌متر که دامنه کاری گاوآهن برگرداندار به پایان می‌رسد جرم مخصوص ظاهری را کاهش دهد و لذا تیغه‌های الحاقی توانسته‌اند در محدوده عمقی ۲۵-۳۵ سانتی‌متر خاک را بشکنند. جدول شمارهٔ ۳ نشان می‌دهد جرم مخصوص ظاهری خاک قبل از عملیات از عمق صفر تا ٤۰ سانتی‌متر روند افزایش داشته و از ۱/۳۸ به ۱/٥٦ گرم بر سانتی‌متر مکعب رسیده است. در حالی که پس از اجرای عملیات با

1- Specific Draft

گاوآهن مرکب مقدار آن در کلیهٔ سطوح عمق کاهش یافته است و اختلاف آن در محدوده ۲۰-۳۰ سانتی متر با قبل از آزمایش به حداکثر خود رسیده و در محدودهٔ ۳۰-۴۰ سانتی‌متر نیز کاهش قابل توجهی داشته است. دلیل این موضوع آن است که ماشین مرکب در محدودهٔ عمقی فوق الذکر با توجه به تیغه‌های الحاقی قادر به گسیختگی خاک بوده و توانسته است سخت لایهٔ شخم را تحت تأثیر قرار دهد. از طرف دیگر، تجزیه و تحلیل و مقایسه داده‌ها در جدول تجزیهٔ واریانس (جدول شمارهٔ ٤) نشان می‌دهد که دو تیمار گاوآهن مرکب و ساده در محدوده‌های عمق فوق‌الذکر دارای اختلاف معنی‌دار هستند، در حالی که جدول شمارهٔ ۳ نشان می‌دهد برای محدوده‌های عمقی ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار ندارند که دلیل آن عملکرد یکسان هر دو ماشین در محدوده عمقی مذکور است؛ و وجود اختلاف معنی‌دار مربوط به محدوده عمقی ۲۰-۳۰ و ۳۰-۴۰ سانتی‌متر است. جدول تجزیه واریانس همچنین نشان می‌دهد که اثر عمق نیز بر تیمارها معنی‌دار است که باتوجه به روند طبیعی افزایش جرم مخصوص ظاهری در اعماق بیشتر دارای توجیه است. اثر متقابل عمق و تیمار معنی‌دار نشده است.

جدول شمارهٔ ۳- جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) در محدوده‌های مختلف عمق برای تیمارهای آزمایش

عمق (سانتی‌متر) / تیمار	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-٤۰
قبل از شخم	۱/۳۸	۱/۳۳	۱/۵۰	۱/۵٦
گاوآهن ساده	۱/۱۲	۱/۱۷	۱/۲۹	۱/٤۲
گاوآهن مرکب	۱/۰۷	۱/۱٤	۱/۱۵	۱/۲۸

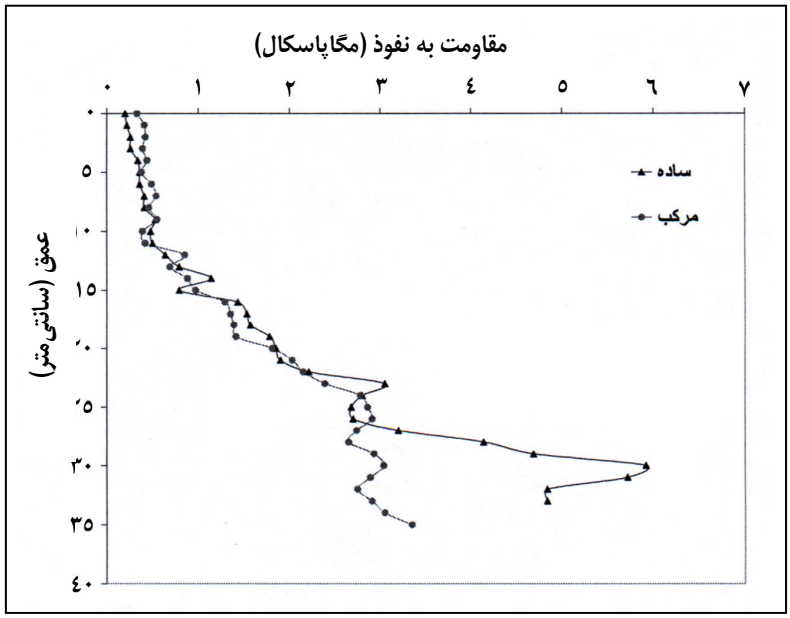
جدول شمارهٔ ٤- تجزیهٔ واریانس جرم مخصوص ظاهری

منابع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
تکرار	۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۵ns
تیمار	۲	۰/۵۰۱	۰/۲۵۰	۲۵/۱**
خطا (۱)	٤	۰/۰۱۰	۰/۹۷۰	۳۵/۷**
عمق	۳	۰/۲۹۰	۰/۰۰۵	۱/۸ns
تیمار × عمق	٦	۰/۳۰۰	۰/۰۰۳	
خطا (۲)	۱۸	۰/۰٤۹		
کل	۲۵	۰/۹۱۲		

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns اختلاف معنی‌دار ندارد CV = ٤/۹

- مقاومت به نفوذ

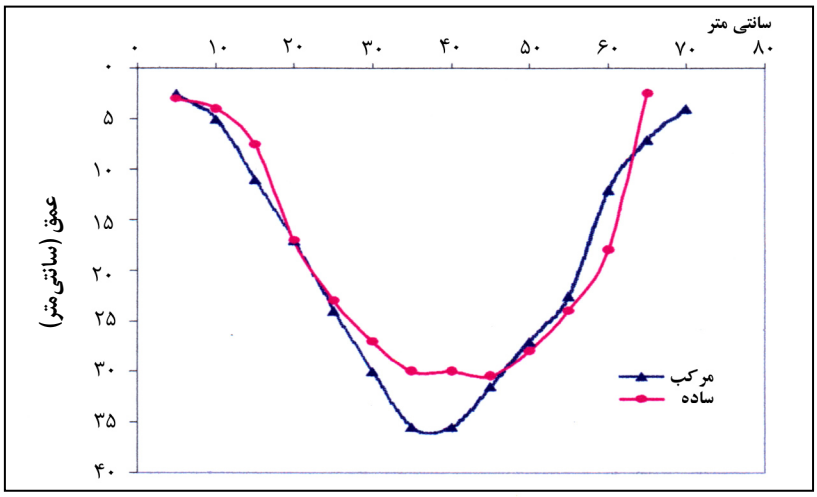
مقاومت به نفوذ با دستگاه نفوذسنج مخروطی بعد از اعمال دو تیمار گاوآهن برگرداندار معمولی و گاوآهن برگرداندار مرکب تا عمق ۳۵ سانتی‌متری (محدوده اثر گاوآهن مرکب) اندازه‌گیری شد. در نمودار شمارهٔ ۲ که مقایسهٔ دو تیمار را نشان می‌دهد می‌بینیم مقاومت به نفوذ در محدودهٔ عمقی پایین‌تر از ۲۵ سانتی‌متر بعد از کاربرد گاوآهن معمولی افزایش قابل توجهی پیدا کرده است که از وجود سخت لایهٔ شخم حکایت می‌کند. کاربرد گاوآهن مرکب توانسته است این سخت لایه را در محدودهٔ عمقی ۲۵-۳۵ سانتی‌متر تحت تأثیر قرار دهد و باعث کاهش مقاومت به نفوذ شود. باز هم می‌بینیم که اثر دو تیمار در محدودهٔ عمقی ۰-۲۵ سانتی‌متر یکسان است که دلیل آن مشابهت ماشین در عملیات شخم معمول است. میزان رطوبت هنگام اندازه‌گیری این متغیر، ۱۲/۸ درصد تعیین شد.



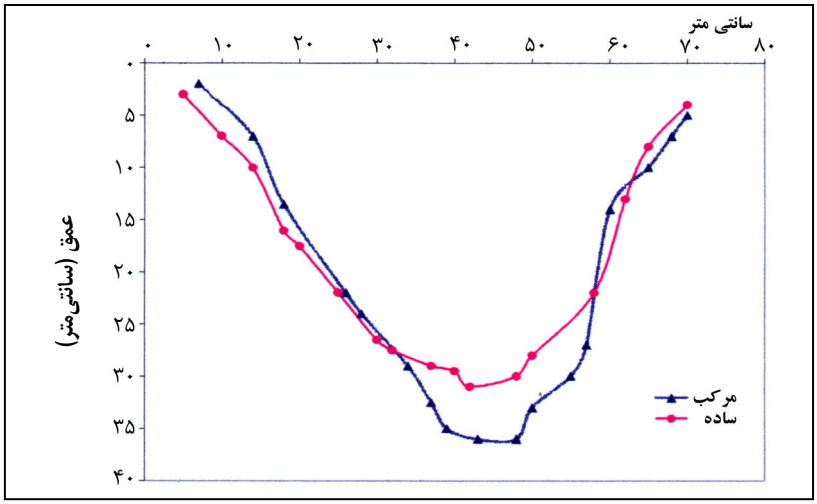
نمودار شمارهٔ ۲- مقایسهٔ مقاومت به نفوذ در دو حالت گاوآهن ساده و مرکب

- پروفیل گسیختگی خاک

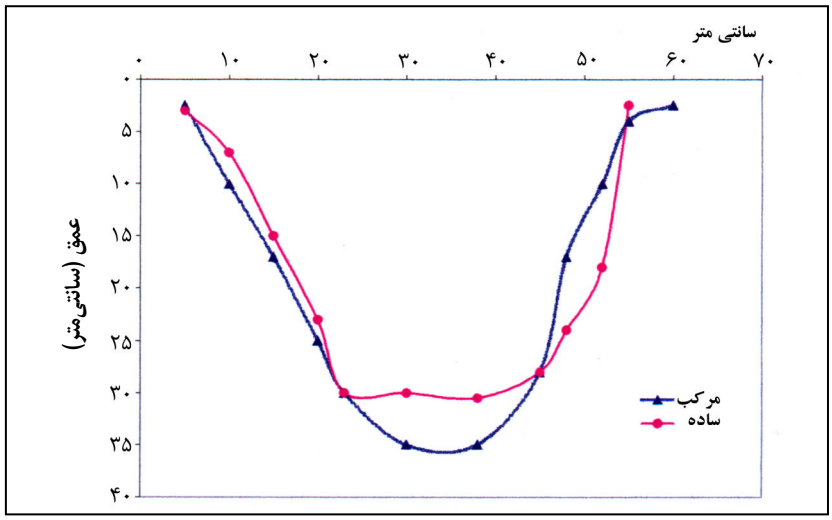
پروفیل عرضی خاک به هم خورده برای دو تیمار گاوآهن برگرداندار معمولی و گاوآهن مرکب در سه تکرار در هر پلات اندازه‌گیری و تعیین شد. نمودارهای شمارهٔ ۳، ٤، و ٥ مقایسهٔ پروفیل به هم خوردهٔ خاک در دو حالت استفاده از گاوآهن مرکب و گاوآهن ساده را در سه پلات نشان می‌دهد. با مشاهدهٔ شکل گسیختگی مشخص می‌شود که در کلیهٔ کرت‌ها گاوآهن مرکب گسیختگی بیشتر و علی‌الخصوص عمق بیشتری را در محدوده شکل‌گیری سخت لایهٔ شخم تحت تأثیر قرار داده است. با مشاهدهٔ اختلاف عمق کارکرد دو تیمار و عرض برش بازوهای الحاقی همچنین می‌توان صحت عمق و عرض پیش بینی شدهٔ بازوهای الحاقی را کنترل کرد که با فرضیات اولیه تطابق دارد. گفتنی است که این متغیر نیز عملکرد تقریباً یکسان دو تیمار را در محدودهٔ عمقی ۰-۲۵ سانتی‌متر تأئید می‌کند. شکل شمارهٔ ٦ نیز تصویر واقعی پروفیل شکست خاک در مزرعه را در هر دو حالت گاوآهن ساده و مرکب نشان می‌دهد.



نمودار شمارهٔ ۳- مقایسه پروفیل گسیختگی خاک توسط دو تیمار در پلات اول



نمودار شمارهٔ ٤- مقایسه پروفیل گسیختگی خاک توسط دو تیمار در پلات دوم



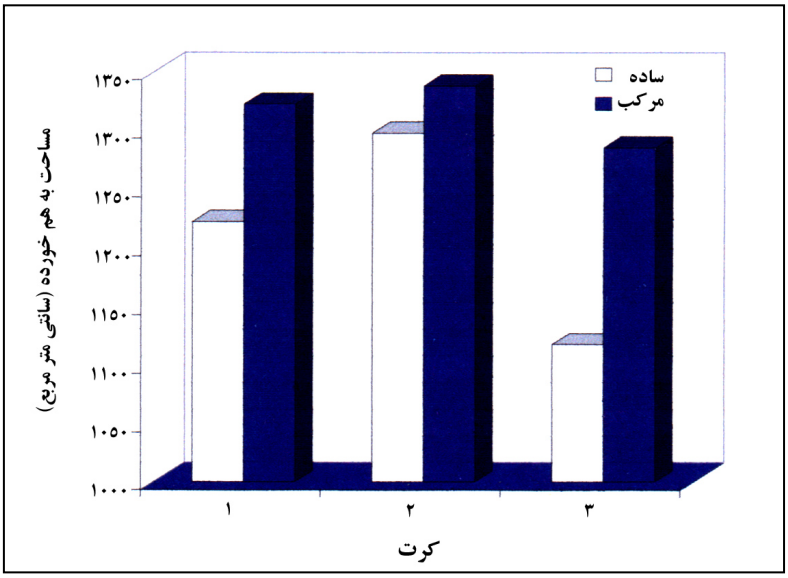
نمودار شمارهٔ ٥- مقایسه پروفیل گسیختگی خاک توسط دو تیمار در پلات سوم

شکل شمارهٔ ٦- پروفیل واقعی گسیختگی خاک در مزرعه پس از کاربرد گاوآهن ساده و مرکب

- مساحت خاک به‌هم خورده

نمودار شمارهٔ ۷ مساحت به هم خورده خاک را با استفاده از نتایج پروفیل گسیختگی خاک در کرت‌های مختلف نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که استفاده از گاوآهن مرکب موجب افزایش مساحت به هم خورده تا ۱۵ درصد هم شده است. این موضوع به معنای آن است که گاوآهن مرکب خاک بیشتری را تحت تاثیر قرار داده است که با توجه به نتایج مشروحهٔ قبلی بیشتر مربوط به محدودهٔ عمقی ۲۵-۳۵ سانتی‌متر است.

جدول آزمون آماری نشان می‌دهد که میانگین مساحت به هم خوردهٔ خاک در دو تیمار دارای اختلاف بسیار معنی‌دار در سطح یک درصد است که به طور میانگین منجر به افزایش حدود ۱۰ درصد مساحت به هم خورده شده است و در دو گروه متفاوت قرار گرفته اند (قسمت اول در جدول شمارهٔ ۵).



نمودار شمارهٔ ۷- مقایسه مساحت به‌هم خورده بین گاوآهن ساده مرکب

جدول شمارهٔ ۵- تجزیهٔ آماری مساحت به هم خوردهٔ خاک، مقاومت کششی، و مقاومت کششی ویژه برای هر دو تیمار

پارامتر	تیمار	میانگین	گروه	T
مساحت به هم خورده (سانتی‌متر مربع)	ساده	۱۲۱۲/۵	b	٤/۰٦**
	مرکب	۱۳۲٦/۵	a	
مقاومت کششی (کیلونیوتن)	ساده	۱۹/۲	b	۹/۵۵**
	مرکب	۲۲/۱	a	
مقاومت کششی ویژه (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	ساده	۱۵/۹	b	۲/۲۱*
	مرکب	۱٦/۸	a	

* دارای اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد، ** دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد

- مقاومت کششی

مقاومت کششی هر دو نوع تیمار با استفاده از روش اتصال بین دو تراکتور (RNAM) محاسبه شد. نتایج میانگین هر کرت در جدول شمارهٔ ٦ نشان می‌دهد که به طور متوسط تیمار گاوآهن مرکب مقاومت کششی را نسبت به گاوآهن معمولی حدود ۱۵ درصد افزایش داده است که با توجه به عرض و عمق گسیختگی و مقاومت بالای سخت لایهٔ شخم رقم بالایی نیست و در صورت کاربرد مجزای گاوآهن برگرداندار و گاوآهن چیزل و یا زیرشکن، به نظر می‌رسد افزایش کشش بسیار بیشتر خواهد شد. این بدان معنی است که الحاق بازوها در ماشین مرکب به طور میانگین تنها منجر به افزایش ۲/۹ کیلونیوتن مقاومت کششی برای سه واحد شده که با توجه به منابع حداقل ۱/٤ (یک چهارم) کشش یک گاوآهن چیزل با سه بازوست [۱۷]. این میزان کشش به‌سادگی توسط تراکتورهای متداول قابل تأمین است و از این بابت محدودیتی برای استفاده از تراکتورهای رایج ایجاد نمی‌کند.

تجزیه و تحلیل آماری در جدول شمارهٔ ۵ نشان می‌دهد که اختلاف بین دو تیمار در مقاومت کششی در سطح احتمال یک درصد بسیار معنی‌دار است و در دو گروه متفاوت جای گرفته‌اند.

جدول شمارهٔ ٦- مقایسهٔ مقاومت کششی (کیلو نیوتن) بین دو گاوآهن ساده و مرکب

کرت	برگرداندار ساده	برگرداندار مرکب
۱	۱۸/۳۲	۲۲/٤۸
۲	۱۹/۸٤	۲۲/۱۳
۳	۱۹/٤۵	۲۱/۷۳
میانگین	**۱۹/۲۰**	**۲۲/۱۱**

- مقاومت کششی ویژه

نتایج مقاومت کششی ویژه با تقسیم مقاومت کششی بر سطح به هم خوردهٔ خاک برای دو تیمار در کلیه کرت‌ها در جدول شمارهٔ ۷ داده شده است. مشاهده می‌شود که با توجه به ایجاد سطح بیشتر با گاوآهن مرکب، اختلاف ۱۵ درصد مقاومت کششی بین دو تیمار کاهش قابل توجهی یافته و به حدود ٦ درصد در مقاومت کششی ویژه رسیده است.

نتایج تجزیهٔ آماری نیز نشان می‌دهد که دو تیمار دارای اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد هستند و در دسته‌های متفاوتی قرار گرفته‌اند. این بدان معنی است که در صورت اصلاح در ابعاد برش توسط بازوها در گاوآهن مرکب و افزایش مساحت به هم خورده می‌توان به مقاومت کششی ویژه معادل برای دو تیمار امیدوار بود زیرا میزان افزایش مقاومت کششی و مقاومت ویژه با یکدیگر برابر نیست.

جدول شمارهٔ ۷- مقایسهٔ مقاومت کششی ویژه (نیوتن بر سانتی‌متر مربع) بین دو گاوآهن معمولی و مرکب

کرت	برگرداندار ساده	برگرداندار مرکب
۱	۱۵	۱۷
۲	۱۵/۳	۱۲۱٦/۵
۳	۱۷/٤	۱٦/۹
میانگین	**۱۵/۹**	**۱٦/۸**

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که به طور کلی اختلاف دو تیمار گاوآهن مرکب و ساده در اغلب متغیرهای اندازه‌گیری شده از نظر آماری معنی‌دار است و ماشین مرکب می‌تواند سخت لایهٔ شخم را تحت تأثیر قرار دهد و هدف اولیهٔ تحقیق را تحقق بخشد. به‌طور خاص، ماشین مرکب قادر است جرم مخصوص ظاهری را به میزان معنی‌داری در محدوده عمقی ۲۰-۳۰ و ۳۰-٤۰ سانتی‌متر کاهش دهد. قابل ذکر است که به دلیل مشابهت ماشین در اجرای شخم اولیه، هر دو تیمار در محدودهٔ ۰-۲۰ سانتی‌متر اثر یکسان داشته‌اند. بیشترین اثر بر جرم مخصوص ظاهری یا بیشترین اختلاف با میزان قبل از آزمایش در محدودهٔ عمقی ۲۰-۳۰ سانتی‌متر با گاوآهن مرکب دیده شده است. نکته قابل توجه این است که مقدار جرم مخصوص ظاهری در این محدودهٔ عمقی با مقدار آن در لایه‌های فوقانی شخم خورده (محدوده‌های ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر) فاقد اختلاف معنی‌دار و در دامنهٔ مجاز و توصیه شده است، در حالی که این مقدار در تیمار گاوآهن ساده برای عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متر بیشتر از حد مجاز و با لایه‌های فوقانی شخم خورده دارای اختلاف معنی‌دار است. علت این امر را به وضوح می‌توان به تأثیر بازوهای الحاقی بر لایهٔ زیرین محدودهٔ شخم نسبت داد.

نتایج اندازه‌گیری مقاومت به نفوذ نشان می‌دهد که اولاً افزایش قابل توجه بعد از عمق ۲۵ سانتی‌متر حاکی از وجود سخت لایهٔ شخم در مزرعهٔ مورد

آزمایش است که شرایط مناسبی را بر ارزیابی اثر ماشین مرکب بر این لایه فراهم می‌کند. ثانیاً نتایج این متغیر نشان می‌دهد که در محدودهٔ عمقی ۲۵-۳۵ سانتی‌متر ماشین مرکب باعث کاهش مقاومت به نفوذ به میزان حدود ٤٠ درصد شده است که تاثیر بر سخت لایه شخم را تأیید می‌کند. مشاهدهٔ پروفیل گسیختگی خاک نشان می‌دهد که میزان عرض و عمق برش در نظر گرفته شده در محدودهٔ پایین‌تر از کارکرد گاوآهن برگرداندار ساده با فرضیات تطابق دارد و تأمین شده است. اندازه‌گیری‌ها، از طرفی، بیانگر افزایش مساحت خاک به هم خورده است که از پارامترهای کلیدی در ارزیابی ابزارهای خاک‌ورزی به شمار می‌آید. با توجه به نتایج فوق الذکر مشاهده می‌شود که ماشین مرکب برخی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک را خصوصاً در محدودهٔ رشد و توسعهٔ ریشه بهبود می‌بخشد. اما، همان گونه که بدواً فرض شد، حرکت بازوها در شیار شخم و در پشت خیش‌ها فقط در محدوده عمقی خاص (حدود ۷-۱۰ سانتی‌متر) است و از این رو با خاک درگیر می‌شود که نیروی کششی بالایی طلب نمی‌کند. در اندازه‌گیری و نتایج مقاومت کششی تأیید شد که وجود بازوهای الحاقی تنها منجر به افزایش حدود سه کیلونیوتن مقاومت کششی نسبت به گاوآهن ساده می‌شود که سهم هر بازو تنها یک کیلونیوتن است. در حالی که مقاومت کششی برای کارکرد گاوآهن چیزل تا عمق ۳۰ سانتی‌متر حداقل تا چهار برابر این میزان اندازه‌گیری شده است [۱۷]. این موضوع نشان می‌دهد که ماشین مرکب به سادگی می‌تواند با تراکتورهای متداول کشور نیز به کار گرفته شود. به علاوه اگر چه ماشین مرکب موجب افزایش در نیروی کششی تا حدود ۱۵ درصد می شود ولی با لحاظ کردن مساحت خاک به هم خورده این تفاوت به کمتر از نصف (٦ درصد) می رسد. تفاوت میزان تغییر این دو پارامتر بیانگر این نکته است که در صورت ایجاد تمهیدات و تغییراتی در بازوهای الحاقی، خصوصاً تیغه، می‌توان با افزایش مساحت به هم خوردهٔ خاک به کاهش بیشتر مقاومت کششی ویژه و حتی رسیدن به مقاومت کششی گاوآهن ساده امیدوار بود.

افزودن بر این، ملاحظهٔ دقیق نتایج اندازه‌گیری‌های فوق همگی مؤید این واقعیت است که اثر تیمارها در محدودهٔ عمق شخم (۲۵ سانتی-متر) مشابه است و تیغهٔ الحاقی به ماشین مرکب تنها پس از محدودهٔ فوق الذکر خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و لذا تأثیر منفی بر اجرای شخم اولیه ندارد.

با توجه به تعداد بالای گاوآهن برگرداندار در کشور، اثر بازوهای الحاقی بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک در محدودهٔ سخت لایهٔ شخم، عدم نیاز به تراکتور با قدرت بیشتر، قابلیت قرارگیری بازوهای الحاقی در حالت فعال و غیرفعال، و عدم نیاز به کارگیری زیرشکن برای مزارعی که مشکل سخت لایهٔ شخم دارند و به طور مستمر از گاوآهن برگرداندار معمول استفاده می کنند، پیش بینی می‌شود از گاوآهن مرکب استقبال شود.

مراجع

1- Anon. 2003. Agricultural mechanization centre activitiones. Johad-e Agriculture Ministry. Tehran. Iran. (In Farsi)

2- ASAE Standards. 1999. American Society of Agricultural Engineering. 46th Ed. MI 49085-9659. USA.

3- Behrouzilar, M. 1995. Agricultural Machinery and Equipment. 1st Ed. Agricultural Research and Education Organization Pub. Tehran. Iran. (In Farsi)

4- Brikas, M., Jolankai, M. Gyuricza, C. and Percze, A. 2004. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. Soil and Tillage Res. 78, 185-196.

5- Fundamentals of Machine Operation. 1976. Tillage. Deere & Company Moline. Illions.

6- Ghazavi, M. A. Design and development of a plow appropriate for national condition. Proceeding of the first National Congress of Agricultural Eng. And Mechanization. 1998. (In Farsi)

7- Hoseinpoor, A. 1998. The effect of attaching a roller to moldboard plow for combining primary and secondary tillage operation. MSc. Thesis. Shiraz University. Shiraz. Tehran. (In Farsi)

8- Javadi, A. 1997. Moldboard plows: Applications. Agricultural Adjustment and Services. Extension handbook No. 17. Education Pub. Tehran. Iran. (In Farsi)

9- Javadi, A. 2005. Design, development and evaluation of a combined plow to break plow pan during plowing. Final research report No. 84/407. Agricultural Engineering Research Institute. Karaj. Iran. (In Farsi)

10- Javadi, A. 2005b. Design, development and evaluation of a combined machine for secondary tillage operation. Final Research report. No. 84/4. Agricultural Engineering Research Institute. Karaj. Iran. (In Farsi)

11- Jori, I. J. Standard selection for disc-ripper. ASAE annual meeting. 28-31 July. 2002. Chicago. USA.

12- Loghavi, M. and Hosseinpoor, A. Attaching a deep roller to moldboard plow for primary and secondary operation. Proceeding of the second national congress on Agricultural Eng. And Machinazation. 30-31 Oct. 2002. 43-46.

13- Milked, L. N., Grisso, R. D. Bashford, L. L. and Khurst, A. M. 1994. Bi-level subsoiler performance using tandem shanks. Applied Eng. in Agri. 5 (1): 24-28.

14- Öztürk, I. and Bastaban, S. A research on effect of tillage implement and machines on soil aggregation, porosity and surface smoothness in seedbed preparation. Int. Conf. on Mechanization and Energy in Agri. 1993. Kuşadasi. Türkey.

15- Shafee, A. 1995. Tillage machinery. University Publication Centre. Tehran. Iran. (In Farsi)

16- Shaker, M., Raofat, H. and Solhjoo, A. 2002. Comparison library of necessary energy between betley and chisel plows and their effect on soil physical properties. Res. in Agri. Sci. J. Tabriz University Pub. 2(9): 64-72. (In Farsi)

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

18- RNAM. 1983. Test codes and procedures for farm machinery. RNAM Technical pub. No.12. Pasay city. Philippines.

The Effect of a Combined Moldboard Plow to Break Plow Pan

A. Javadi and M. Shahidzadeh

Nowadays using combined machines in tillage systems is unavoidable. Moldboard plows are being widely used without conducting necessary pre-investigation in Iran. Previous studies indicated that continuos use of moldboard plow resulted in plow pan at a depth ranges 25-35 cm. Farmers often use subsoiler for breaking plow pan similar to deep hard pan although these two layers are not similar particularly for depth. The aim of this research was to improve the common moldboard plow for breaking the plow pan during plowing. Therefore, a combined plow developed with similar shank to chisel plow placed on behind of the moldboard. The shanks adjusted to work at 7-10 cm deeper than moldboard plow. Field tests were conducted in a research station located at 3 Km south-west of Karaj region with loamy soil texture. Two treatments of combined plow and conventional moldboard plow were compared by using t-test statistical analysis. Parameters such as bulk density, penetration resistance, soil failure profile, soil disturbed area, draft and specific draft were either measured or calculated and then compared for treatments. Results indicated that combined plow could break the pan by improving soil physical properties as well as soil failure profile and disturbed area significantly. Combined plow increased draft 15% compared to conventional plow. As new plow resulted in greater disturbed area, the difference for specific draft decreased to 6%. This study suggests that the combined plow can be subsitute to conventional plow in soil with considerable plow pan.

Key words: Combined Plow, Land Preparation, Moldboard Plow, Plow Pan, Primary Tillage