

تأثیر رطوبت خاک و عمق شخم بر عملکرد گاو آهن بشقابی در یک خاک لوم رسی

محمد لغوی و سعید بهنام*

چکیده

در این تحقیق تأثیر سه محدوده از رطوبت خاک (۱۲-۱۰، ۱۵-۱۳ و ۱۸-۱۶ درصد بر مبنای وزن خشک) و سه عمق شخم (۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر) بر مقاومت کششی، مقاومت ویژه و توان مالبندی مورد نیاز گاو آهن بشقابی سه خیش و همچنین بر میزان خرد شدن و برگردان شدن خاک، با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در یک خاک لوم رسی مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر رطوبت خاک در محدوده مورد مطالعه بر کلیه معیارهای عملکردی فوق‌الذکر به استثنای میزان برگردان شدن خاک بسیار معنی‌دار بود، به طوری که میانگینهای مقاومت کششی، مقاومت ویژه و توان مالبندی مورد نیاز در طیف رطوبتی ۱۵-۱۳ درصد به حداقل رسید. تأثیر عمق شخم تنها بر مقاومت کششی و توان مالبندی معنی‌دار بود، به طوری که میانگینهای این دو پارامتر با افزایش عمق شخم به‌طور قابل توجهی فزونی یافت ولی مقاومت ویژه تنها روندی نزولی را نشان داد.

به منظور تعیین شاخصی کمی که بیان‌کننده میزان خرد شدن خاک توسط ادوات خاک‌ورزی باشد، یک دستگاه مجموعه الکهای دوار قابل اتصال و حمل توسط تراکتور طراحی و ساخته شد. با استفاده از این دستگاه اندازه‌گیری قطر متوسط وزنی (MWD) کلوخه‌های حاصل از اجرای عملیات شخم در داخل مزرعه مقدور گردید. نتایج نشان داد در حالی که عمق شخم تأثیری بر MWD نداشت، تأثیر رطوبت خاک بسیار معنی‌دار بود، به طوری که درشت‌ترین کلوخه‌ها به‌هنگام انجام شخم در رطوبت ۱۲-۱۰ درصد تشکیل گردید. روند کاهش اندازه کلوخه‌ها با افزایش رطوبت خاک تا بالاترین سطح رطوبت مورد مطالعه (۱۸-۱۶ درصد) ادامه یافت و در این رطوبت کلوخه‌هایی با میانگین MWD ۳۳/۸ میلی‌متر تشکیل گردید که نسبت به طیف رطوبتی ۱۲-۱۰ درصد در حدود ۷۲ درصد کاهش داشت. تأثیر عمق شخم و رطوبت خاک بر میزان برگردان شدن خاک توسط گاو آهن بشقابی معنی‌دار نبود. میانگین کلی درصد برگردان خاک در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک در حدود ۵۴ درصد بود که با گزارش‌های سایر محققین مطابقت داشت.

واژه‌های کلیدی - گاو آهن بشقابی، مقاومت کششی، توان مالبندی، قطر متوسط وزنی، درصد برگردان خاک

مقدمه

گاو آهن بشقابی^۱ یکی از ابزار خاک‌ورزی اولیه^۲ می‌باشد که از لحاظ نحوه تأثیر بر خاک تا حدی شبیه به گاو آهن برگردان‌دار^۳ عمل می‌نماید، بدینسان که خاک را برش داده، بالا آورده، خرد

* - به ترتیب دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بخش ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

1- Disk plow 2- Primary tillage 3- Moldboard plow

افزایش و نیروی جانبی کاهش نشان داد. بنابراین در زوایای تمایل کوچک تر نفوذ بشقاب در خاک آسان تر بود. در این آزمایشها به طور کلی نوع و شرایط خاک بارزترین عامل موثر بر نیروهای واکنش خاک شناخته شد.

هاریسون (۹) تاثیر عمق شخم، سرعت پیشروی، نوع خاک و زاویه بشقاب بر نیروهای وارده از طرف خاک بر گاو آهن بشقابی را بررسی نمود. وی تأثیر عمق شخم و نوع خاک را بر هر سه مولفه طولی، عمودی و جانبی واکنش خاک معنی دار، ولی تغییر سرعت را تنها بر مولفه جانبی معنی دار یافت.

رطوبت خاک از دیگر عواملی است که می تواند بر مقاومت کششی ادوات خاک ورزی و میزان نرم سازی خاک توسط آنها مؤثر واقع گردد. در رطوبتهای پایین، ذرات خاک در اثر بالا بودن نیروهای همدوسی^۳ به هم چسبیده و منسجم بوده، مقاومت زیادی در برابر برش نشان می دهند. با افزایش رطوبت، ملکولهای آب با تجمع بر سطح ذرات خاک، خاصیت همدوسی آنها را کاهش داده و خاصیت تردی^۴ و از هم پاشی را در خاک افزایش می دهند (۱۰).

از دیگر ویژگیهای ادوات خاک ورزی اولیه، برگردان نمودن خاک و دفن بقایا و پوشش گیاهی خاک می باشد. این ویژگی بسته به شرایط اقلیمی و اهداف خاک ورزی می تواند یک عیب و یا یک امتیاز محسوب گردد. برگردان نمودن خاک، ضمن این که می تواند در افزایش ماده آلی و بهبود شرایط فیزیکی خاک موثر باشد، در مبارزه با علفهای هرز به صورت مکانیکی و اجتناب از آثار زیان بار زیست محیطی مبارزه شیمیایی نیز حائز اهمیت بسیار می باشد. از طرف دیگر، عدم توجه به حفظ پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک که ذخیره رطوبتی خاکها کم است، علاوه بر آن که تبخیر رطوبت لایه های زیرین را تسریع می نماید، سالیانه سطح وسیعی از اراضی قابل کشت را در معرض فرسایش توسط سیلابهای فصلی قرار می دهد.

بخاری و همکاران (۵) میزان برگردان خاک توسط گاو آهن

چسبنده، ریشه و کلش دار و سست و اسفنجی، که گاو آهنهای برگردان دار قادر به کار مطلوب نمی باشند، توصیه می گردد (۱). عوامل خاک ورز این گاو آهن متشکل از تعدادی (۳ تا ۶) تیغه بشقابی شکل مقعر و گردان می باشد که به صورت مستقل از یکدیگر، به طور مورب و به فواصل مساوی از یکدیگر بر یک قاب سوار گردیده اند تا برشهایی به عرض ۱۸ تا ۳۰ سانتیمتر در خاک ایجاد نمایند. این بشقابها نسبت به امتداد پیشروی در زمین زاویه ای بین ۴۲ تا ۴۵ درجه بنام زاویه برش^۱ و با امتداد قائم زاویه ای متغیر بین ۱۵ تا ۲۵ درجه بنام زاویه تمایل^۲ می سازند. قطر بشقابها معمولاً بین ۶۰ تا ۷۰ سانتیمتر و عمق کار آنها حداکثر ۱/۳ قطر بشقاب است (۱۸).

در غالب شرایط و خصوصاً در خاکهای سخت و خشک، هر نوع ابزار بشقابی نه تنها قدرت نفوذ در خاک را ندارد، بلکه به دلیل گردش، تمایل به خروج از خاک را داشته و لذا حفظ عمق مطلوب، مستلزم تامین زوایای برش و تمایل مناسب و اعمال وزن کافی بر روی بشقابها می باشد. از این رو گاو آهنهای بشقابی استاندارد دارای قابی نسبتاً سنگین (۱۸۰ تا ۵۴۰ کیلوگرم به ازای هر بشقاب) می باشند (۱۸).

در تحقیقات مک کریری و نیکولز (۱۲) وزن گاو آهن بشقابی مهم ترین عامل در نفوذ بشقابها در خاک شناخته شد. گوردن (۸) اولین محقق بود که تأثیر دو نوع خاک (لوم رسی و لوم شنی ریز دانه)، سه زاویه برش (۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه) و سه زاویه تمایل (۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه) را بر روی نیروهای واکنش خاک بر گاو آهن بشقابی مورد بررسی قرار داد. در هر دو نوع خاک مقاومت کششی (مولفه واکنش خاک در راستای طولی) در زاویه برش ۴۵ درجه به حداقل رسید، در حالی که نفوذ بشقاب در خاک، با افزایش زاویه برش تا ۵۰ درجه بهبود حاصل نمود، زیرا مولفه عمودی واکنش خاک به طور چشمگیری کاهش یافت. با افزایش زاویه تمایل بشقاب در محدوده ۱۵ تا ۲۵ درجه، مقاومت کششی و واکنش عمودی رو به بالای خاک

1- Disk angle

2- Tilt angle

3- Cohesion

4- Friability

خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این بررسی، می‌تواند در محاسبات مربوط به طراحی گاوآهن بشقابی و انتخاب و انطباق تراکتور و گاو آهن مورد استفاده قرارگیرد.

مواد و روشها

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (باجگاه) واقع در ۱۶ کیلومتری شمال غربی شیراز اجرا گردید. تا زمان انجام آزمایش حدود دو سال از آیش ماندن زمین می‌گذشت و علفهای هرز با پراکندگی نسبتاً یکنواختی در سطح زمین مشاهده می‌گردید. نوع خاک لوم رسی (۳۵/۵٪ رس، ۳۹/۳٪ سیلت و ۲۵/۲٪ شن) با حد پایین خمیری (LPL) حدود ۲۰٪ بر مبنای وزن خشک و شیب زمین در دو جهت طولی و عرضی در حدود ۲ در هزار بود.

در این تحقیق از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ تیمار (۳ رطوبت × ۳ عمق شخم) و در چهار تکرار استفاده گردید. تاثیر دو متغیر مستقل، شامل رطوبت خاک در سه محدوده ۱۲ - ۱۰، ۱۵ - ۱۳ و ۱۸ - ۱۶ درصد بر مبنای وزن خشک (به ترتیب با میانگین ۰/۵۵، ۰/۷ و ۰/۸۵ LPL) و عمق شخم در سه سطح ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر بر مقاومت کششی گاوآهن بشقابی، میزان خرد شدن خاک و برگردان شدن لایه سطحی به عنوان متغیرهای وابسته مورد بررسی قرارگرفت.

وسیله خاک‌ورزی مورد استفاده، یک دستگاه گاو آهن سوار شونده ساخت ایران، دارای سه بشقاب کروی به قطر ۶۶۰ میلیمتر، شعاع انحنا ۶۵۰ میلیمتر، تقعر ۹۰ میلیمتر و ضخامت ۵ میلیمتر بود. از منضمات این گاوآهن می‌توان چرخ شیار عقب^۴ و کمک برگردان روی بشقابها را نام برد. زوایای برش و تمایل بشقابها به ترتیب ۴۵ و ۲۵ درجه بوده و نسبت به شاسی گاو آهن قابل تنظیم نبود.

آزمایشها در طول ۳۶ کرت، هر یک به طول ۶۰ متر و عرض ۴ متر اجرا گردید. داده‌های ثبت شده در هر آزمایش شامل

بشقابی را حدود ۵۰٪ و گاوآهن برگردان دار را ۹۵٪ گزارش نموده‌اند.

از دیگر عوامل عملکردی ادوات خاک‌ورزی، بازده بهره‌گیری آنها از انرژی مصرفی در خردکردن خاک می‌باشد. میزان انرژی مورد نیاز برای ایجاد درجه معینی از خرد شدن خاک، به مقاومت خاک و بازده ادوات خاک‌ورزی در بهره‌گیری از انرژی دریافتی از تراکتور بستگی دارد. مقاومت خاک به طبیعت و شرایط فیزیکی آن وابسته است. خاکهای رسی نسبت به خاکهای لوم و شنی به انرژی بیشتری برای خرد شدن نیاز دارند. شرایط آب و هوایی، نوع محصول و عملیات زراعی قبلی، وضعیت فیزیکی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهند. برای یک خاک بخصوص، انرژی مورد نیاز جهت خردسازی خاک با افزایش جرم مخصوص ظاهری آن فزونی می‌یابد (۴).

راسل (۱۶) مناسب‌ترین دامنه تغییران اندازه خاکدانه‌ها در یک بستر بذر مطلوب را بین ۱ تا ۵ میلیمتر می‌داند. محققین عموماً قطر متوسط وزنی^۱ (MWD) خاکدانه‌ها را مهم‌ترین معیار کمی جهت بیان درجه خرد شدن^۲ خاک می‌شناسند. اوجنی و دکستر (۱۴) رطوبت مناسب جهت اجرای عملیات خاک‌ورزی را که منجر به تشکیل حداکثر خاکدانه‌های ریز و حداقل کلوخه‌های درشت می‌گردد، در محتوای رطوبت نزدیک به ۰/۹ حد پایین خمیری^۳ خاک گزارش نموده‌اند. سیدوی (۱۷) و تاهان و همکاران (۱۹) گزارش نموده‌اند که انجام عملیات خاک‌ورزی توسط گاو آهن بشقابی، کلوخه‌های کوچک‌تری را در مقایسه با گاوآهن برگردان‌دار ایجاد می‌نماید. لغوی و مرادی (۱۱) تاثیر رطوبت خاک و عمق شخم را بر شرایط نهایی خاک، پس از انجام شخم توسط گاوآهن برگردان‌دار در یک خاک لوم رسی بررسی نموده و خرد شدن بهتر و یکنواخت‌تر خاک را در دامنه رطوبت ۱۸ - ۱۶ درصد گزارش نمودند.

در این تحقیق مقاومت کششی و توان مالبندی مورد نیاز گاوآهن بشقابی در شرایط مختلف رطوبت خاک و عمق شخم و همچنین تاثیر این دو عامل بر میزان خرد شدن و برگردان شدن

1- Mean weight diameter

2- Degree of pulverization

3- Lower plastic limit (LPL)

4- Rear furrow wheel

مجموع مقاومت کششی گاو آهن و مقاومت غلتشی تراکتور، مقاومت غلتشی تراکتور حامل گاو آهن، سرعت پیشروی تراکتور، عرض و عمق شخم، رطوبت خاک، میزان پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک قبل و بعد از عملیات شخم و جداسازی و توزین خاکدانه‌های حاصل از شخم در گروه‌های ابعادی مختلف به منظور تعیین قطر متوسط وزنی بود.

مقاومت کششی

برای اندازه‌گیری مقاومت کششی گاو آهن بشقابی از روش دو تراکتوری (تراکتور حامل گاو آهن و تراکتور کشنده) بر طبق دستورالعمل RNAM^۱ استفاده گردید (۱۵). این روش قبلاً توسط بسیاری از محققین به کار رفته و روش اجرای آن توسط لغوی و اشرفی‌زاده (۲) گزارش گردیده است. در این تحقیق از یک دستگاه مسی فرگوسن ۲۸۵ با توان مشخصه ۵۵ کیلو وات به عنوان تراکتور حامل گاو آهن بشقابی و یک دستگاه جان‌دیر ۴۲۳۰ با توان مشخصه ۸۸ کیلو وات به عنوان تراکتور کشنده استفاده به عمل آمد. دینامومتر مورد استفاده برای اندازه‌گیری و ثبت نیروی کشش بین دو تراکتور از نوع فنری ثبات مدل CAL KOLB، با ظرفیت کشش ۵۰۰۰ کیلوگرم نیرو (۴۹۰۵۰ نیوتن) بود.

در طول کلیه آزمایشها تراکتور حامل گاو آهن با سرعت از پیش تعیین شده $5 \pm 0/5$ کیلومتر در ساعت، که در آزمایشهای مقدماتی با انتخاب دنده و دور موتور مناسب تعیین گردیده بود، کشیده می‌شد. به منظور تعیین سرعت دقیق پیشروی تراکتور در هر کرت، زمان پیمودن طول مسیر آزمایش توسط کرومومتر ثبت گردید.

مقاومت ویژه^۲ و توان مالبندی^۳

پس از استخراج مقادیر مقاومت کششی گاو آهن از منحنی‌های ترسیم شده توسط دینامومتر و محاسبه سرعت پیشروی تراکتور در هر کرت، مقاومت ویژه گاو آهن (Sd) و توان مالبندی صرف شده (Dbp) در هر کرت با استفاده از

فرمول‌های [۱] و [۲] محاسبه گردید.

$$Sd = D/bd \quad [1]$$

$$Dbp = DS/3600 \quad [2]$$

در این روابط:

$$Sd = \text{مقاومت ویژه بر حسب } N/cm^2$$

$$D = \text{مقاومت کششی بر حسب } N$$

$$b = \text{عرض کار گاو آهن بر حسب } cm$$

$$d = \text{عمق کار گاو آهن بر حسب } cm$$

$$Dbp = \text{توان مالبندی بر حسب } kW$$

$$S = \text{سرعت پیشروی تراکتور در حال شخم بر حسب } km/h$$

میزان برگردان شدن خاک^۴

میزان برگردان خاک عبارتست از نسبت وزن بقایای گیاهی و علفهای هرزی که بعد از عملیات شخم بر روی سطح باقیمانده به کل بقایای گیاهی و علفهای هرزی که قبل از عملیات شخم بر روی زمین وجود داشته است. این نسبت که معمولاً بر حسب درصد بیان می‌گردد، با استفاده از فرمول [۳] که توسط RNAM (۱۵) ارائه و به وسیله تعدادی از محققین از جمله بخاری و همکاران (۵) به کار گرفته شده است، محاسبه گردید.

$$F = [(Wp - We) / Wp] \times 100 \quad [3]$$

در این رابطه:

$$F = \text{شاخصی از میزان برگردان شدن خاک } (\%)$$

$$Wp = \text{جرم خشک بقایای گیاهی قبل از عملیات شخم } (g)$$

$$We = \text{جرم خشک بقایای گیاهی به جای مانده بر روی سطح}$$

شخم خورده (g)

برای تعیین مقادیر Wp و We، قبل و بعد از اجرای شخم، یک قاب مستطیلی به ابعاد 50×100 سانتیمتر به طور تصادفی در سه نقطه از هر پلات انداخته شد و بقایای گیاهی آن جمع‌آوری و پس از خشک کردن در آون 105 درجه سانتیگراد در مدت ۲۴ ساعت توزین و میانگین وزن سه نمونه به عنوان

جدول ۱- اندازه شبکه‌ها، قطر و طول الکهای استوانه‌ای دوار بر حسب میلی‌متر

شماره الک	اندازه ضلع شبکه	قطر استوانه	ارتفاع استوانه
۱	۱۰۰	۱۵۲	۱۳۰۰
۲	۷۵	۴۲۰	۱۱۰۰
۳	۵۰	۵۴۰	۱۰۰۰
۴	۲۵	۷۵۰	۸۹۰
۵	۱۲/۵	۸۶۰	۷۸۰
۶	۶/۲۵	۹۷۰	۶۷۵

مقادیر W_p و W_e هر پلات در محاسبات آماری منظور گردید.

میزان خرد شدن خاک

تا قبل از انجام این تحقیق هیچ‌گونه وسیله یا روش خاصی جهت اندازه‌گیری و ارائه شاخص کمی دقیق برای میزان خرد شدن خاک در اثر اجرای عملیات خاک‌ورزی، در ایران گزارش نگردیده بود. از اینرو، با الهام از روش و وسایل به کار گرفته شده توسط چپیل (۶) و گیل و واندنبرگ (۷)، یک دستگاه مجموعه الکهای دوار^۱ مطابق شکل ۱، به منظور جداسازی کلوخه‌های حاصل از عملیات خاک‌ورزی، در گروه‌های ابعادی مختلف، جهت تعیین قطر متوسط وزنی MWD طراحی و ساخته شد. پیکره اصلی دستگاه متشکل از ۶ عدد الک استوانه‌ای هم مرکز، با اندازه شبکه، قطر و ارتفاع مختلف، بر طبق جدول ۱ است که توسط انگشتی‌های شعاعی و پیچ و مهره بهم متصل شده، به صورت یک مجموعه با اتکا بر روی چهار عدد چرخ لاستیکی نصب شده بر روی قاب نگهدارنده، قادر به دوران حول محور مرکزی می‌باشد.

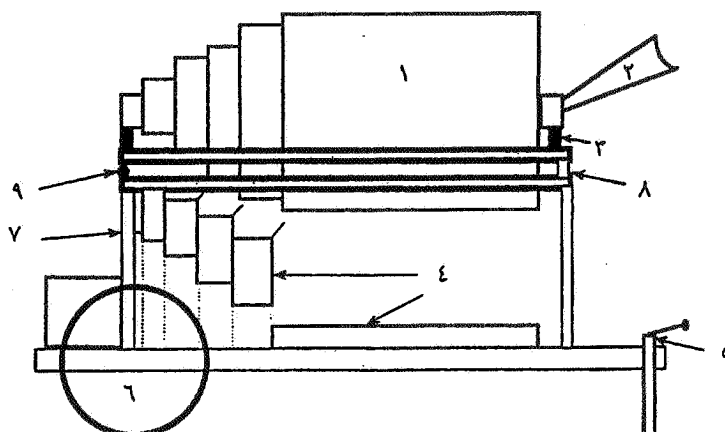
ظروف نگهداری خاکدانه‌های مجزا شده، قاب نگهداری مجموعه الکها از یک طرف توسط لولا و از طرف دیگر توسط دو عدد پیچ بلند قابل تنظیم، بر روی شاسی اصلی دستگاه نصب گردید. بدین ترتیب زاویه شیب محور طولی مجموعه الکها بین ۴ تا ۷ درجه قابل تنظیم بود.

به منظور تسهیل در تغذیه کلوخه‌ها و خاکدانه‌های نمونه‌برداری شده از پلات‌ها به درون دستگاه الکهای دوار، یک عدد صفحه ناودانی شکل^۲ در دهانه داخلی‌ترین استوانه (با درشت‌ترین شبکه) نصب گردید. تعداد هفت عدد مخزن مستطیلی، ساخته شده از ورق گالوانیزه نیز به منظور جمع‌آوری کلوخه‌های درجه‌بندی شده بر مبنای قطر متوسط، در زیر مجموعه الکهای استوانه‌ای قرار داده شد. چرخش الکها به هنگام انجام آزمایش به طور دستی و با سرعت متوسط ۷ تا ۱۰ دور در دقیقه انجام گرفت.

نمونه‌برداری از کرت‌ها جهت تعیین قطر متوسط وزنی (MWD) خاکدانه‌ها، چند روز پس از انجام شخم انجام گرفت تا کلوخه‌های ایجاد شده در معرض هوا و تابش خورشید خشک و نسبتاً سخت شده، در حین عبور از الکها کمتر دچار شکستگی و کاهش اندازه گردند. نمونه‌برداری از خاک درون یک قاب مستطیلی ۵۰×۱۰۰ سانتیمتری که به طور تصادفی در سه نقطه از هر کرت انداخته می‌شد، تا عمق شخم تیمار مربوطه توسط یک بیل پهن دسته کوتاه انجام گرفت. پس از توزین هر نمونه، کلوخه‌هایی که بزرگ‌ترین بعد آنها بزرگ‌تر از ۱۵ سانتیمتر بود و

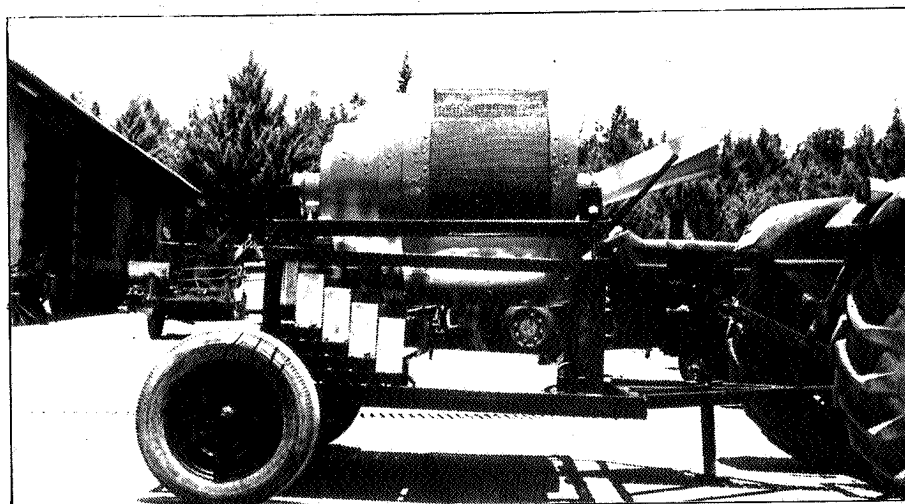
برای حمل و نقل دستگاه و انتقال آن به مزرعه تحقیقاتی، قاب نگهدارنده و مجموعه الکها بر روی یک شاسی چرخدار قابل اتصال به مالبند تراکتور نصب گردید (شکل ۲). به منظور شیب دادن به مجموعه الکها، جهت امکان حرکت محوری کلوخه‌های باقیمانده بر روی الکهای استوانه‌ای و تخلیه درون

1- Rotary sieves 2- Chute



۱- مجموعه الکهای دوار ۲- کانال تغذیه ۳- چرخهای لاستیکی ۴- مخازن خاکدانه ها
۵- چک ۶- چرخ حامل ۷- تاسی دستگاه ۸- پیچ تنظیم شیب ۹- لولا

شکل ۱- تصویری شماتیک از دستگاه مجموعه الکهای دوار



شکل ۲- دستگاه الکهای دوار در حالت اتصال به تراکتور جهت انتقال به مزرعه

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad [4]$$

در این رابطه:

MWD = قطر متوسط وزنی (mm)

X_i = قطر متوسط کلوخه‌ها در هر گروه ابعادی (mm)

W_i = وزن کلوخه‌های موجود در هر گروه ابعادی به صورت

نسبتی از وزن کل نمونه (اعشاری)

n = تعداد گروه ابعادی کلوخه‌ها که توسط دستگاه الکهای دوار

امکان عدم عبور آنها از درون الکهای دوار وجود داشت (در صورت وجود) جدا گردید و پس از توزین و اندازه‌گیری قطر متوسط، در بزرگ‌ترین گروه ابعادی قرار داده شد. سپس نمونه خاک به درون الکهای در حال چرخش تغذیه شده و بر حسب اندازه متوسط در هفت گروه ابعادی تقسیم و درون ظروف واقع در زیر الکها ریخته شد. خاک درون این ظروف توزین و از فرمول [۴] برای محاسبه قطر متوسط وزنی هر نمونه استفاده گردید (۳).

تأثیر رطوبت خاک و عمق شخم بر عملکرد گاوآهن بشقابی در یک خاک لومرسی

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل رطوبت خاک و عمق شخم بر مقاومت کششی، مقاومت ویژه، توان مالبندی، قطر متوسط وزنی و درصد برگردان شدن خاک در عملیات شخم به وسیله گاوآهن بشقابی

میانگین مربعات					درجات آزادی	منابع تغییر
مقاومت کششی	مقاومت ویژه	توان مالبندی	قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها	درصد برگردان شدن خاک		
۱/۴۷	۱/۱۸	۸/۲۶	۱۲۳/۸۲	۱۴۱/۱۹	۳	تکرار (بلوک)
۶۹/۹۲ ^{***}	۲۵/۹۷ ^{***}	۱۱۸/۰۴ ^{***}	۱۹۰۶/۰۴ ^{***}	۱۸۴/۲۸ ^{ns}	۲	رطوبت خاک (M)
۷۲/۵۲ ^{***}	۰/۲۹ ^{ns}	۲۲۰/۲۷ ^{***}	۰/۰۵ ^{ns}	۳/۵۲ ^{ns}	۲	عمق شخم (D)
۸/۸۸ ^{***}	۲/۷۲ ^{***}	۶/۲۹ ^{***}	۲۸/۰۵ ^{ns}	۵۱/۹۱ ^{ns}	۴	اثر متقابل (MxD)
۰/۷۲	۰/۴۴	۱/۵۳	۷۹/۶۹	۱۵۱/۸۴	۲۴	خطای آزمایش

** - وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪

ns - عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ۳- مقایسه میانگینهای مقاومت کششی گاوآهن بشقابی (بر حسب کیلونیوتن) در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک

عمق شخم (سانتیمتر)				رطوبت خاک (% وزن خشک)
میانگین (X̄)	۲۵	۲۰	۱۵	
۱۲/۶۷A	۱۴/۷۱a	۱۳/۴۲a	۹/۹۰cd ^۱	۱۰-۱۲
۷/۹۱C	۱۱/۷۲b	۷/۶۰e	۴/۴۲f	۱۳-۱۵
۹/۶۰B	۱۰/۸۰bc	۹/۷۸cd	۸/۲۴de	۱۶-۱۸
	۱۲/۴۱A	۱۰/۲۶B	۷/۲۵C	میانگین (X̄)

۱- میانگینهایی که در هر ستون یا ردیف با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح ۱٪ دارای اختلاف نمی‌باشند (آزمون دانکن).

مجزا می‌گردد (شامل آن گروه که کلوخه‌های بزرگ‌تر از ۱۵ سانتیمتر را تشکیل داده و به طور دستی جدا می‌شود).

بشقابی در جدول ۲ ارائه گردیده است. نتایج نشان داد که تغییر رطوبت خاک در محدوده ۱۲ تا ۱۸ درصد، بر کلیه عوامل مورد مطالعه، به استثنای درصد برگردان خاک اثر معنی‌دار داشت. در حالی که تغییر عمق شخم تنها بر مقاومت کششی و توان مالبندی مورد نیاز دارای تاثیر معنی‌دار بود. همچنین رطوبت خاک و عمق شخم، در حالی که بر نیرو و توان مورد نیاز جهت حرکت گاوآهن بشقابی در خاک اثر متقابل داشتند، ولی در مورد میزان خردسازی و برگردان خاک اثر متقابلی

نتایج و بحث
نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل رطوبت خاک و عمق شخم بر مقاومت کششی، مقاومت ویژه و توان مالبندی مورد نیاز و همچنین قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها و درصد برگردان شدن خاک در عملیات شخم به وسیله گاوآهن

جدول ۴- مقایسه میانگینهای مقاومت کششی ویژه گاوآهن بشقابی (بر حسب نیوتن بر سانتیمتر مربع)،

در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک

رطوبت خاک (% وزن خشک)	عمق شخم (سانتیمتر)	میانگین (X̄)
۱۰-۱۲	۲۵	۶/۷۲A
	۲۰	۶/۸۱ab
	۱۵	۷/۴۴a ^۱
۱۳-۱۵	۲۵	۳/۸۸B
	۲۰	۳/۹۴de
	۱۵	۳/۰۸e
۱۶-۱۸	۲۵	۴/۶۳B
	۲۰	۴/۴۵de
	۱۵	۵/۲۰cd
میانگین (X̄)		۴/۹۳A
		۵/۰۷A
		۵/۲۴A

۱- میانگینهایی که در هر ستون یا ردیف با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح ۱٪ دارای اختلاف نمی‌باشند (آزمون دانکن).

می‌دهد. با افزایش بیشتر رطوبت خاک، غشاء رطوبتی توسعه بیشتری یافته و با قرار گرفتن بین ذرات خاک و سطوح فلزی موجب افزایش نیروی دگردوسی^۳ بین ذرات خاک و سطوح درگیر با خاک ادوات خاک‌ورزی می‌گردد. افزایش مجدد مقاومت کششی راه پس از کاهش چشمگیری که در محدوده رطوبتی ۱۵ - ۱۳ حاصل نمود، می‌توان ناشی از تاثیر نیروهای دگردوسی بر افزایش ضریب اصطکاک ظاهری فلز و خاک و قرارگرفتن خاک در مرحله دگردوسی^۴ دانست. این موضوع توسط نیکولز (۱۳) بیان گردیده است.

مقایسه میانگینهای مقاومت ویژه گاوآهن بشقابی در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک، که در جدول ۴ ارائه گردیده‌است، نشان می‌دهد که مقاومت ویژه با افزایش عمق شخم، هر چند که تغییر معنی‌داری نشان نداد، ولی دارای روندی نزولی بود. کپنر و همکاران (۹) وقوع این پدیده را که افزایش عمق خاک ورزی تا حد بهینه نسبت عمق به عرض برش، موجب کاهش مقاومت ویژه می‌گردد گزارش نموده و دلیل آن را مستقل بودن نیروی لازم برای برش کف شیار شخم از تغییرات عمق شخم دانسته‌اند. تغییرات میانگینهای مقاومت ویژه در سطوح مختلف رطوبت خاک، روندی تقریباً مشابه با تغییرات

بین عمق شخم و رطوبت خاک مشاهده نگردید. مقایسه میانگینهای مقاومت کششی در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن^۱ (جدول ۳)، نشان داد که مقاومت کششی با افزایش عمق شخم به‌طور معنی‌داری فزونی یافت و این افزایش در طیف رطوبت ۱۵ - ۱۳ درصد خاک بارزتر از سایر محدوده‌های مورد مطالعه بود، که حاکی از وجود اثر متقابل بین عمق شخم و رطوبت خاک می‌باشد.

مقاومت کششی گاوآهن بشقابی در محدوده رطوبت ۱۵ - ۱۳ درصد به حداقل مقدار خود رسید و با کاهش یا افزایش رطوبت فزونی نشان داد. این پدیده حاکی از آنست که خاک مورد مطالعه در این محدوده از رطوبت (۱۵ - ۱۳)، در بهترین حالت از لحاظ تردی قرار داشت. افزایش شدید مقاومت کششی با کاهش رطوبت، ناشی از افزایش نیروی همدوسی بین ذرات و افزایش مقاومت برشی و استحکام خاک می‌باشد. با افزایش رطوبت، ملکول‌های آب بر سطح ذرات خاک جذب شده، غشایی رطوبتی^۲ در اطراف ذرات تشکیل می‌دهد. این غشاء موجب کاهش نیروی همدوسی گشته و از استحکام و سختی خاک می‌کاهد و به آن خاصیت شکنندگی و تردی

1- Duncan's multiple range test(DMRT)

2- Moisture film 3- Adhesive force 4- Adhesion phase

تأثیر رطوبت خاک و عمق شخم بر عملکرد گاوآهن بشقابی در یک خاک لومرسی

جدول ۵- مقایسه میانگینهای توان مالبندی مورد نیاز گاوآهن بشقابی (بر حسب کیلو وات)، در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک

رطوبت خاک (% وزن خشک)	عمق شخم (سانتیمتر)			میانگین (\bar{X})
	۲۵	۲۰	۱۵	
۱۰-۱۲	۲۰/۳۴a	۱۷/۰۴b	۱۱/۸۴c ^۱	۱۶/۴۱A
۱۳-۱۵	۱۶/۳۸b	۹/۳۶d	۴/۹۹e	۱۰/۲۴C
۱۶-۱۸	۱۵/۱۰b	۱۲/۵۹c	۹/۲۸d	۱۲/۳۲B
میانگین (\bar{X})	۱۷/۲۷A	۱۳/۰۰B	۸/۷۰C	

۱- میانگینهایی که در هر ستون یا ردیف با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح ۱٪ دارای اختلاف نمی‌باشند (آزمون دانکن).

جدول ۶- مقایسه میانگینهای قطر متوسط وزنی (MWD) خاکدانه‌های حاصل از اجرای شخم توسط گاوآهن بشقابی (بر حسب میلی‌متر)، در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک

رطوبت خاک (% وزن خشک)	عمق شخم (سانتیمتر)			میانگین (\bar{X})
	۲۵	۲۰	۱۵	
۱۰-۱۲	۵۸/۳a	۵۶/۷ab	۵۹/۶a ^۱	۵۸/۲A
۱۳-۱۵	۳۸/۹bc	۴۳/۹abc	۳۸/۵bc	۴۰/۴B
۱۶-۱۸	۳۵/۱c	۳۱/۸c	۳۴/۶c	۳۳/۸B
میانگین (\bar{X})	۴۴/۱A	۴۴/۱A	۴۴/۲A	

۱- میانگینهایی که در هر ستون یا ردیف با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح ۱٪ دارای اختلاف نمی‌باشند (آزمون دانکن).

سطح ۱۲ - ۱۰ درصد موجب افزایش توان مورد نیاز گردید. با توجه به وجود رابطه مستقیم بین توان مالبندی با سرعت پیشروی و مقاومت کششی (فرمول ۲) و تدابیری که در طول اجرای آزمایشها جهت تثبیت سرعت پیشروی تراکتور اتخاذ گردید، تشابه حاصل از مقایسه میانگینهای مقاومت کششی و توان مالبندی مورد نیاز، قابل پیش‌بینی بوده است.

مقایسه میانگینهای قطر متوسط وزنی (MWD) کلوخه‌های حاصل از اجرای شخم توسط گاوآهن بشقابی در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک (جدول ۶)، حاکی از آنست که انجام شخم در محدوده رطوبت خاک ۱۲ - ۱۰ درصد، به طور بسیار معنی‌داری منجر به ایجاد کلوخه‌های درشت‌تری نسبت به دو محدوده مرطوب‌تر گردیده‌است. میانگینهای MWD کلوخه‌های ایجاد شده در

مقاومت کششی داشت. بدین ترتیب که مقاومت ویژه در پایین‌ترین محدوده رطوبت مورد مطالعه (۱۰-۱۲ درصد)، به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر از دو محدوده بالاتر بود و در رطوبت ۱۵ - ۱۳ درصد به حداقل کاهش یافت. بدیهی است دلایل ارائه شده در ارتباط با روند تغییرات مقاومت کششی با رطوبت خاک در مورد مقاومت ویژه نیز صادق است.

مقایسه میانگینهای توان مالبندی مورد نیاز گاوآهن بشقابی در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک (جدول ۵)، نشان داد که با افزایش عمق شخم، توان مالبندی مورد نیاز به‌طور بسیار معنی‌داری افزایش یافت. همچنین تأثیر رطوبت خاک بر توان مالبندی مورد نیاز به نحوی بود که کاهش رطوبت از سطح ۱۸ - ۱۶ درصد به ۱۵ - ۱۳ درصد در کلیه سطوح عمق شخم، به‌طور معنی‌داری توان مورد نیاز را کاهش داد و کاهش مجدد رطوبت تا

جدول ۷- مقایسه میانگینهای میزان برگردان شدن خاک توسط گاواهن بشقابی (برحسب درصد)

در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک				رطوبت خاک
عمق شخم (سانتیمتر)				(٪ وزن خشک)
میانگین (\bar{X})	۲۵	۲۰	۱۵	
۵۵/۳A	۵۰/۱a	۵۹/۷a	۵۶/۱a ^۱	۱۰-۱۲
۴۷/۵A	۵۳/۲a	۴۴/۰a	۴۵/۴a	۱۳-۱۵
۵۸/۳A	۵۸/۸a	۵۸/۲a	۵۷/۹a	۱۶-۱۸
	۵۴/۱A	۵۴/۰A	۵۳/۱A	میانگین (\bar{X})

۱- میانگینهایی که در هر ستون یا ردیف با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح ۱٪ دارای اختلاف نمی‌باشند (آزمون دانکن).

مقایسه میانگینهای میزان برگردان شدن خاک توسط گاواهن بشقابی در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک (جدول ۷)، نشان داد که تاثیر هیچ یک از این دو عامل بر میزان برگردان شدن خاک با احتمال ۹۹٪ معنی دار نبود، ولی در محدوده ۱۵ - ۱۳ درصد که با صرف کمترین توان مالبندی، بیشترین درجه خردسازی خاک انجام گرفت، میزان برگردان شدن خاک نیز کمتر از دیگر محدوده‌های رطوبتی مورد مطالعه بود. میانگین کلی درصد برگردان خاک در این بررسی در حدود ۵۴ درصد بود، که با نتایج تحقیقات بخاری و همکاران (۵)، که میزان برگردان خاک توسط گاواهن بشقابی را در حدود ۵۰ درصد گزارش نموده‌اند، مطابقت دارد. به منظور مقایسه مقاومت کششی و مقاومت ویژه گاواهن بشقابی و گاواهن برگرداندار، بخشی از نتایج پژوهش انجام شده توسط لغوی و مرادی (۱۱) که عملکرد کششی گاواهن برگرداندار در شرایطی مشابه با این تحقیق از لحاظ نوع و شرایط خاک مورد بررسی قرار گرفته، در جداول ۸ و ۹ به همراه بخشی از نتایج این تحقیق ارائه گردیده است. مقایسه این ارقام نشان می‌دهد که در دو عمق شخم و دو سطح رطوبتی، که در این دو بررسی کاملاً مشابه بوده است، مقاومت کششی و مقاومت ویژه گاواهن برگرداندار همواره بزرگ‌تر از کمیت‌های مشابه برای گاواهن بشقابی بوده و این تفاوتها خصوصاً در سطح رطوبت بالاتر (۱۸ - ۱۶ درصد) بارزتر است.

دو محدوده رطوبت ۱۵ - ۱۳ و ۱۸ - ۱۶ درصد، هر چند از لحاظ آماری در سطح ۱٪ اختلاف نشان نداد ولی روند کاهش MWD با افزایش رطوبت ادامه داشت، به طوری که با تغییر رطوبت خاک از ۱۰-۱۲ درصد به ۱۳-۱۵ درصد، MWD به میزان ۴۴ درصد کاهش یافت و با ادامه افزایش رطوبت تا محدوده ۱۸ - ۱۶ درصد، با تشکیل کلوخه‌هایی با قطر متوسط وزنی ۳۳/۸ میلی‌متر، قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها نسبت به محدوده ۱۲ - ۱۰ درصد در حدود ۷۲ درصد کاهش داشت. بدین ترتیب مناسب‌ترین محدوده رطوبت خاک جهت انجام شخم با گاواهن بشقابی، که منجر به بیشترین میزان خرد شدن خاک گردید، رطوبتی با میانگین ۰/۸۵ حد پایین خمیری (LPL) بود که تاییدی مجدد بر گزارشهای محققین قبلی از جمله اوچنی و دکستر (۱۴) می‌باشد، که مناسب‌ترین رطوبت را در حدود ۰/۹ LPL گزارش نموده‌اند.

نتایج مربوط به توان مالبندی مورد نیاز (جدول ۵) و جدول ۶ نشان می‌دهد که انجام شخم در شرایط خشک (رطوبت ۱۰-۱۲ درصد در این بررسی) نه تنها توان مصرفی را افزایش می‌دهد (میانگین ۱۶/۴۱ kW در مقایسه ۱۰/۲۴kW در رطوبت ۱۵ - ۱۳ درصد)، بلکه کلوخه‌های نسبتاً درشتی ایجاد می‌نماید (MWD = ۵۸/۲mm) که خردسازی آنها و فراهم ساختن بستر بذر مناسب، مستلزم انجام چندین نوبت دیسک با صرف انرژی و زمان زیاد خواهد بود.

تأثیر رطوبت خاک و عمق شخم بر عملکرد گاوآهن بشقابی در یک خاک لومرسی

جدول ۸- مقایسه مقاومت کششی گاوآهنهای برگرداندار^۱ و بشقابی (بر حسب کیلو نیوتن)،

در دو عمق شخم و دو سطح رطوبت خاک				رطوبت خاک (% وزن خشک)
عمق شخم (سانتیمتر) و نوع گاو آهن				
۲۵		۲۰		
بشقابی	برگرداندار	بشقابی	برگرداندار	
۱۴/۷۱	۱۷/۹۱	۱۳/۴۲	۱۴/۹۴	۱۰-۱۲
۱۰/۸۰	۱۷/۶۴	۹/۷۸	۱۳/۷۵	۱۶-۱۸

۱- اقتباس از مرجع شماره ۱۱

جدول ۹- مقایسه مقاومت ویژه گاوآهنهای برگرداندار^۱ و بشقابی (بر حسب نیوتن بر سانتیمتر مربع)

در دو عمق شخم و دو سطح رطوبت خاک				رطوبت خاک (% وزن خشک)
عمق شخم (سانتیمتر) و نوع گاو آهن				
۲۵		۲۰		
بشقابی	برگرداندار	بشقابی	برگرداندار	
۵/۹۱	۷/۹۶	۶/۸۱	۸/۳۱	۱۰-۱۲
۴/۲۵	۷/۸۰	۴/۴۵	۷/۶۳	۱۶-۱۸

۱- اقتباس از مرجع شماره ۱۱

۳- نیروهای زائد^۱ وارد از طرف خاک بر گاوآهن برگرداندار، عمدتاً توسط کفش و پاشنه^۲ دریافت می‌شود، در حالی که در گاوآهن بشقابی این نیروها عمدتاً بر چرخ شیار عقب وارد می‌گردد. با توجه به این که نیروهای اصطکاکی وارد بر کفش و پاشنه، که از نوع لغزشی^۳ است، به مراتب بزرگ‌تر از اصطکاک غلتشی^۴ وارد بر چرخ عقب می‌باشد، انتظار می‌رود از این جنبه نیز مقاومت کششی گاوآهن بشقابی کمتر از نوع برگرداندار باشد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل نتایج بخشی از طرح پژوهشی مصوب شورای پژوهشی دانشگاه شیراز تحت عنوان «ارزیابی مقاومت کششی و توان مالبندی مورد نیاز ادوات خاک‌ورزی» می‌باشد که بدین وسیله از شورای محترم پژوهشی دانشگاه شیراز به خاطر تصویب و تامین اعتبار اجرای این طرح سپاسگزاری می‌گردد.

در توجیه کاهش مقاومت کششی و مقاومت ویژه گاوآهن بشقابی نسبت به گاوآهن برگردار، می‌توان دلایل متعددی ارائه نمود که اهم آنها عبارتند از:

۱- گاوآهن بشقابی ضمن این که با حرکت چرخشی خود خاک را راحت‌تر از تیغه گاوآهن برگرداندار برش می‌دهد، نیم‌رخ کنگره مانند در کف شیار ایجاد می‌نماید، که موجب می‌گردد با عرض و عمق شخم یکسان، سطح مقطع برش مؤثر کوچک‌تری نسبت به گاوآهن برگرداندار داشته و در نتیجه جرم و حجم خاک کمتری را برش داده، بالا آورده و جابه جا نماید.

۲- طول مسیر و سرعت نسبی حرکت خاک برش یافته بر روی بشقابهای گاوآهن بشقابی، نسبت به صفحه برگردان گاو آهن برگرداندار کوچک‌تر بوده و طبعاً مولفه اصطکاکی واکنش خاک بر روی بشقابها کوچک‌تر می‌باشد.

1- Parasitic forces 2- Landside and sole

3- Sliding resistance

4- Rolling resistance

منابع مورد استفاده

- ۱- شفیعی، س.ا. ۱۳۷۴. ماشین‌های خاک‌ورزی. مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۲۱۶ صفحه.
- ۲- لغوی، م. و س.ر. اشرفی‌زاده. ۱۳۷۶. مقاومت کششی، مقاومت ویژه و توان مالبندی مورد نیاز گاوآهن قلمی (چیزل)، در سطوح مختلف رطوبت خاک و عمق شخم. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد اول، شماره ۲، ص ۹۶ - ۸۵.
- 3- Adam, K.M. and D.C. Erbach. 1992. Secondary tillage tool effect on soil aggregation. *Trans. of the ASAE*. 35(6): 1771 - 1776.
- 4- Bateman , H. P., M. P. Nail and R. R. Yoerger. 1995. Energy required to pulverize soil at different degree of compaction. *J. Agric. Eng. Res.* 10: 132 - 141.
- 5- Bukhari, S., M. A. Bhutto, J. M. Baloch and A. N. Mirani. 1988. Performance of selected tillage implements. *A. M. A.* 19(4): 9 - 14.
- 6- Chepil, W. S. 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26: 4 - 6.
- 7- Gill, W. R. and G. E. Vanden Berg. 1968. *Soil Dynamics in Tillage and Traction*. Agricultural Handbook No. 316, USDA - ARS. 511p.
- 8- Gordon, E. D. 1941. Physical reactions of soil on plow disks. *Agric. Eng.* 22(6): 205 - 208.
- 9- Harrison, H. P. 1977. Soil reacting forces for disks from field measurements. *Trans. of the ASAE.* 20(5): 836 - 838.
- 10- Kepner, R. A., R. Bainer and E. L. Barger. 1972. *Principles of Farm Machinery*. The AVI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut, 486p.
- 11- Loghavi, M. and A. Moradi. 1996. Draft and drawbar power requirement of moldboard plow in a clay loam soil. *Iran Agric. Res.* 15(2): 203 - 214.
- 12- McCreery, W. F. and M. L. Nichols. 1956. The geometry of disks and soil relationship. *Agric. Eng.* 37(12): 808 - 812 , 820.
- 13- Nichols, M. L. 1932. The dynamic properties of soils by means of colloidal films. *Trans. of the ASAE.* 26: 37 - 42.
- 14- Ojenigi, S. O. and A. R. Dexter. 1979. Soil factors affecting the macro - structure produced by tillage. *Trans. of the ASAE.* 22(2): 339 - 343.
- 15- RNAM. Test Code and Procedure for Agricultural Machinery. 1983. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Technical Series No. 12, 297p.
- 16- Russel, E. W. 1961. *Soil Conditions and Plant Growth*. Longmans Green and Co. Ltd., London. 384P.
- 17- Siddoway, F. H. 1963. Effect of cropping and tillage methods on dry aggregate soil structure. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27 : 452-454.
- 18- Srivastava, A. K., C. E. Goering and R. P. Rohrbach. 1993. *Engineering Principles of Agricultural Machines*. ASAE Textbook No. 6, St. Joseph, MI. USA, 601 p.
- 19- Tahan, Y. H. A., H. M. Hassan and I. A. Hammadi. 1992. Effect of plowing depths using different plow types on some physical properties of soil. *A. M. A.* 23(4): 21 - 24.