تأثیر رطوبت خاک و عمق شخم برعملکرد 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 گاوآهن 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 بیان کننده میزان خردشدن 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 حالی‌که 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. روندکاهش 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 گاوآهن 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 – *گاوآهن بشقابی، مقاومت کششی، توان مالبندی، قطر متوسط وزنی، درصد برگردان خاک*

مقدمه

گاو آهن بشقابی[1] یکی از ابزار خاک‌ورزی اولیه[2] می‌باشد که از لحاظ نحوه تاثیر برخاک تا حدی شبیه به گاو آهن برگردان‌دار[3] عمل می‌نماید، بدینسان که خاک را برش داده، بالا آورده، خرد نموده و تا حدی برگردان می‌کند. با توجه به گردش بشقابها و در نتیجه کاهش اصطکاک و توانایی در برش بقایای گیاهی و مواد سطحی، کاربرد آنها در شرایطی نظیر خاکهای خشک و سخت،

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

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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.4.8.3]

چسبنده، ریشه و کلش‌دار و سست و اسفنجی، که گاوآهنهای برگردان‌دار قادر به کار مطلوب نمی‌باشند، توصیه می‌گردد (۱).

عوامل خاک‌ورز این گاوآهن متشکل از تعدادی (۳تا۶) تیغه بشقابی شکل مقعر و گردان می‌باشد که به صورت مستقل از یکدیگر، به طور مورب و به فواصل مساوی از یکدیگر بریک قاب سوار گردیده‌اند تا برشهایی به عرض ۱۸ تا ۳۰ سانتیمتر در خاک ایجاد نمایند. این بشقابها نسبت به امتداد پیشروی در زمین زاویه‌ای بین ۴۲ تا ۴۵ درجه بنام زاویه برش[1] و با امتداد قائم زاویه‌ای متغیر بین ۱۵ تا ۲۵ درجه بنام زاویه تمایل[2] می‌سازند. 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 به‌دلیل 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 می‌باشد. از این‌رو گاو آهنهای بشقابی استاندارد دارای قابی نسبتاً سنگین (۱۸۰ تا ۵۴۰ کیلوگرم به ازاری هر بشقاب) می‌باشند (۱۸).

در تحقیقات مک کریری و نیکولز (۱۲) وزن گاوآهن بشقابی مهم‌ترین عامل در نفوذ بشقابها در خاک شناخته شد. گوردن (۸) اولین محققی بود که تأثیر دو نوع خاک (لوم رسی و لوم شنی ریز دانه)، سه زاویه برش (۴۰، ۴۵ و ۵۰درجه) و سه زاویه تمایل (۱۵ ، ۲۰ و ۲۵ درجه) را بر روی نیروهای واکنش خاک بر گاوآهن 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 حالی‌که نفوذ بشقاب در خاک، با افزایش زاویه برش تا ۵۰ درجه بهبود حاصل نمود، زیرا مولفه عمودی واکنش خاک به‌طور چشمگیری کاهش یافت. با افزایش زاویه تمایل بشقاب در محدوده ۱۵ تا ۲۵ درجه، مقاومت کششی و واکنش عمودی رو به بالای خاک افزایش و نیروی جانبی کاهش نشان داد. بنابراین در زوایای تمایل کوچک‌تر نفوذ بشقاب در خاک آسان‌تر 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 بررسی‌نمود. وی تأثیر عمق شخم و نوع خاک را بر هر سه مولفه طولی، عمودی و جانبی واکنش خاک معنی‌دار، ولی تغییر سرعت را تنها بر مولفه جانبی معنی‌دار یافت.

رطوبت خاک از دیگر عواملی است که می‌تواند بر مقاومت کششی ادوات خاک‌ورزی و میزان نرم‌سازی خاک توسط آنها مؤثر واقع گردد. در رطوبتهای پایین، ذرات خاک در اثر بالا بودن نیروهای همدوسی[3] به هم چسبیده و منسجم بوده، مقاومت زیادی در برابر برش نشان می‌دهند. با افزایش رطوبت، ملکول‌های آب با تجمع بر سطح ذرات خاک، خاصیت همدوسی آنها راکاهش داده و خاصیت تردی[4] و از هم پاشی را در خاک افزایش می‌دهند (۱۰).

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

بخاری و همکاران (۵) میزان برگردان خاک توسط گاوآهن

1- Disk angle 2- Tilt angle 3- Cohesion 4- Friability

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.4.8.3]

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[1](MWD) خاکدانه‌ها را مهم‌ترین معیار کمی جهت بیان درجه خرد شدن[2] 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[3] 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 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 دوجهت 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 × ۳عمق 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 برمبنای وزن خشک (به ترتیب با میانگین ۰/۵۵، ۰/۷ و ۰/۸۵ LPL) و عمق شخم در سه سطح ۱۵ ، ۲۰و 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 انحنای ۶۵۰ میلیمتر، تقعر ۹۰ میلیمتر و ضخامت ۵ میلیمتر بود. از منضمات این گاوآهن می‌توان چرخ شیار عقب[4] 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 ۳۶کرت، هر یک به طول ۶۰ متر و عرض ۴ متر اجرا گردید. داده‌های ثبت شده در هر آزمایش شامل

1- Mean weight diameter 2- Degree of pulverization 3- Lower plastic limit (LPL) 4- Rear furrow wheel

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.4.8.3]

مجموع مقاومت کششی گاوآهن و مقاومت غلتشی تراکتور، مقاومت غلتشی تراکتور حامل گاوآهن، 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 گاوآهن بشقابی از روش دو تراکتوری (تراکتور حامل گاو آهن و تراکتور کشنده) بر طبق دستورالعمل RNAM[1] 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 گاوآهن 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 گاوآهن با سرعت از پیش تعیین شده ۰/۵ ± ۵ 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 کرونومتر ثبت گردید.

مقاومت ویژه[2] و توان مالبندی[3]

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.

$$Sd = D/bd \qquad [۱]$$

$$Dbp = DS/۳۶۰۰ \qquad [۲]$$

در این روابط:

Sd = مقاومت ویژه بر حسب N/cm^2

D = مقاومت کششی بر حسب N

b = عرض کار گاوآهن بر حسب cm

d = عمق کار گاوآهن بر حسب cm

Dbp= توان مالبندی بر حسب kW

S = سرعت پیشروی تراکتور در حال شخم برحسب km/h

میزان برگردان شدن خاک[4]

میزان برگردان خاک عبارتست از نسبت وزن بقایای گیاهی و علفهای هرزی که بعداز 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، بااستفاده از فرمول [۳] که توسط RNAM (۱۵) ارائه و به‌وسیلهٔ تعدادی از محققین از جمله بخاری و همکاران (۵) به‌کار گرفته شده است، محاسبه گردید.

$$F = [(Wp - We) / Wp] \times ۱۰۰ \qquad [۳]$$

دراین رابطه:

F = شاخصی از میزان برگردان شدن خاک (٪)

Wp= جرم خشک بقایای گیاهی قبل از عملیات شخم (g)

We= 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 ۱۰۰×۵۰ سانتیمتر به طور تصادفی در سه نقطه از هر پلات انداخته شد و بقایای گیاهی آن جمع‌آوری و پس از خشک کردن در آون ۱۰۵ درجه سانتیگراد در مدت ۲۴ ساعت توزین و میانگین وزن سه نمونه به عنوان

1- Regional Network for Agricultural Machinery 2- Specific draft 3- Drawbar power 4- Soil inversion

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.4.8.3]

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 Wp و We 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 به‌کار گرفته شده توسط چپیل (۶) و گیل و واندنبرگ (۷)، یک دستگاه مجموعه الکهای دوار[1] 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، به‌صورت یک مجموعه با اتکا بر روی چهار عدد چرخ لاستیکی نصب شده بر روی قاب نگهدارنده، قادر به دوران حول محور مرکزی می‌باشد.

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 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.

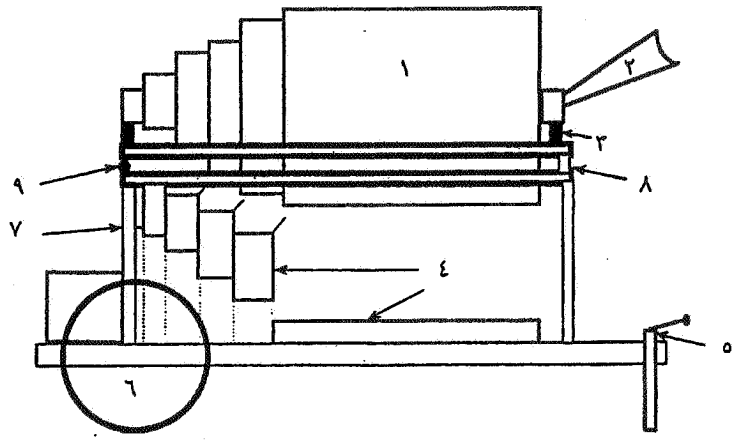
به منظور تسهیل در تغذیه کلوخه‌ها و خاکدانه‌های نمونه‌برداری شده از پلات‌ها به درون دستگاه الکهای دوار، یک عدد صفحه ناودانی شکل[2] در دهانه داخلی‌ترین استوانه (با درشت‌ترین شبکه) نصب گردید. تعداد هفت عدد مخزن مستطیلی، ساخته شده از ورق گالوانیزه نیز به منظور جمع‌آوری کلوخه‌های درجه‌بندی شده بر مبنای قطر 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 ۱۰۰×۵۰ 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

1- Rotary sieves 2- Chute

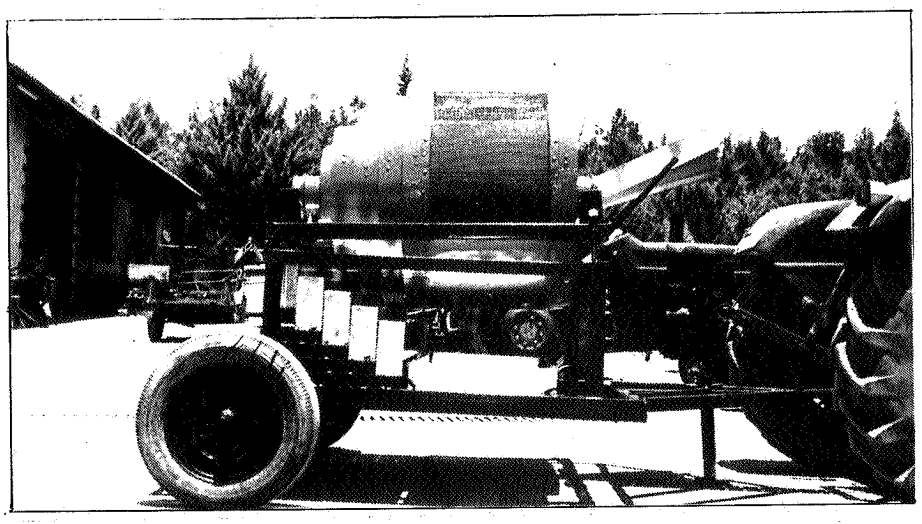
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.4.8.3]



۱ - مجموعه الکهای دوار ۲ - کانال تغذیه ۳ - چرخهای لاستیکی ۴ - مخازن خاکدانه ها
۵ - جک ۶ - چرخ حامل ۷ - شاسی 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

امکان عدم عبورآنها 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 وبر 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 هرنمونه استفاده گردید(۳).

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} XiWi \qquad [۴]$$

در این رابطه:

MWD = قطر متوسط وزنی (mm)

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

Wi = وزن کلوخه‌های موجود در هر گروه ابعادی به صورت نسبتی از وزن کل نمونه (اعشاری)

n = تعداد گروه ابعادی کلوخه ها که توسط دستگاه الکهای دوار

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.4.8.3]

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

منابع تغییر	درجات آزادی	میانگین مربعات				
		مقاومت کششی	مقاومت ویژه	توان مالبندی	قطرمتوسط‌وزنی کلوخه‌ها	درصد برگردان شدن خاک
تکرار(بلوک)	۳	۱/۴۷	۱/۱۸	۸/۲۶	۱۲۳/۸۲	۱۴۱/۱۹
رطوبت‌خاک(M)	۲	۶۹/۹۲**	۲۵/۹۷**	۱۱۸/۰۴**	۱۹۰۶/۰۴**	۱۸۴/۲۸ns
عمق‌شخم(D)	۲	۷۲/۵۲**	۰/۲۹ns	۲۲۰/۲۷**	۰/۰۵ns	۳/۵۲ns
اثرمتقابل(MxD)	۴	۸/۸۸**	۲/۷۴**	۶/۲۹**	۲۸/۰۵ns	۵۱/۹۱ns
خطای‌آزمایش	۲۴	۰/۷۲	۰/۴۴	۱/۵۳	۷۹/۶۹	۱۵۱/۸۴

** - 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

رطوبت خاک (٪ وزن خشک)	عمق‌شخم (سانتیمتر)			
	۱۵	۲۰	۲۵	میانگین ($\bar{X}$)
۱۰-۱۲	۹/۹۰cd[1]	۱۳/۴۲a	۱۴/۷۱a	۱۲/۶۷A
۱۳-۱۵	۴/۴۲f	۷/۶۰e	۱۱/۷۲b	۷/۹۱C
۱۶-۱۸	۸/۲۴de	۹/۷۸cd	۱۰/۸۰bc	۹/۶۰B
میانگین($\bar{X}$)	۷/۲۵C	۱۰/۲۶B	۱۲/۴۱A	

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).

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 به‌وسیله گاوآهن 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 حالی‌که تغییر عمق شخم تنها برمقاومت 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.4.8.3]

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)	عمق‌شخم (سانتیمتر) ۱۵	۲۰	۲۵	میانگین ($\bar{X}$)
۱۰-۱۲	۷/۴۴a[1]	۶/۸۱ab	۵/۹۱bc	۶/۷۲A
۱۳-۱۵	۳/۰۸e	۳/۹۴de	۴/۶۳cd	۳/۸۸B
۱۶-۱۸	۵/۲۰cd	۴/۴۵de	۴/۲۵cd	۴/۶۳B
میانگین ($\bar{X}$)	۵/۲۴A	۵/۰۷A	۴/۹۳A	

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

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[1] (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 و 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[2] 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 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[3] بین ذرات خاک و سطوح درگیر با خاک ادوات خاک‌ورزی می‌گردد. افزایش مجدد مقاومت کششی را، 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[4] 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 بهینهٔ نسبت عمق به عرض برش، موجب کاهش مقاومت ویژه می‌گردد گزارش نموده و دلیل آن را مستقل‌بودن 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

1- Duncan´s multiple range test(DMRT) 2- Moisture film 3- Adhesive force 4- Adhesion phase

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.4.8.3]

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)	عمق‌شخم (سانتیمتر) ۱۵	۲۰	۲۵	میانگین ($\bar{X}$)
۱۰-۱۲	۱۱/۸۴c[1]	۱۷/۰۴b	۲۰/۳۴a	۱۶/۴۱A
۱۳-۱۵	۴/۹۹e	۹/۳۶d	۱۶/۳۸b	۱۰/۲۴C
۱۶-۱۸	۹/۲۸d	۱۲/۵۹c	۱۵/۱۰b	۱۲/۳۲B
میانگین ($\bar{X}$)	۸/۷۰C	۱۳/۰۰B	۱۷/۲۷A	

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)	عمق‌شخم (سانتیمتر) ۱۵	۲۰	۲۵	میانگین ($\bar{X}$)
۱۰-۱۲	۵۹/۶a[1]	۵۶/۷ab	۵۸/۳a	۵۸/۲A
۱۳-۱۵	۳۸/۵bc	۴۳/۹abc	۳۸/۹bc	۴۰/۴B
۱۶-۱۸	۳۴/۶c	۳۱/۸c	۳۵/۱c	۳۳/۸B
میانگین ($\bar{X}$)	۴۴/۲A	۴۴/۱A	۴۴/۱A	

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

مقاومت کششی داشت. بدین ترتیب که مقاومت ویژه در پایین‌ترین محدوده رطوبت مورد مطالعه (۱۲-۱۰ 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 معنی داری افزایش یافت. همچنین تاثیر 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 سطح ۱۲ - ۱۰ در صد 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 محدودهٔ مرطوب‌تر گردیده‌است. میانگینهای MWD کلوخه‌های ایجاد شده در

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.4.8.3]

جدول ۷- مقایسه میانگینهای میزان برگردان شدن خاک توسط گاوآهن بشقابی (برحسب درصد) در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک

رطوبت خاک (٪ وزن خشک)	عمق‌شخم (سانتیمتر)			
	۱۵	۲۰	۲۵	میانگین ($\bar{X}$)
۱۲-۱۰	۵۶/۱a[1]	۵۹/۷a	۵۰/۱a	۵۵/۳A
۱۵-۱۳	۴۵/۴a	۴۴/۰a	۵۳/۲a	۴۷/۵A
۱۸-۱۶	۵۷/۹a	۵۸/۲a	۵۸/۸a	۵۸/۳A
میانگین ($\bar{X}$)	۵۳/۱A	۵۴/۰A	۵۴/۱A	

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

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 ۱۲-۱۰ درصد به ۱۵-۱۳ درصد، MWD به‌میزان 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 گاوآهن 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 اوجنی 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 ۱۲-۱۰ 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.

مقایسه میانگینهای میزان برگردان شدن خاک توسط گاوآهن بشقابی در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت خاک (جدول ۷)، نشان داد که تاثیر هیچ یک از این دو عامل برمیزان برگردان شدن خاک با احتمال ۹۹٪ معنی‌دار نبود، ولی در محدودهٔ 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 گاو آهن بشقابی را در حدود ۵۰ درصد گزارش نموده‌اند، مطابقت دارد.

به منظور مقایسه مقاومت کششی و مقاومت ویژه گاوآهن بشقابی و گاوآهن برگرداندار، بخشی از نتایج پژوهش انجام شده توسط لغوی و مرادی (۱۱) که عملکرد کششی‌گاو آهن 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 گاوآهن برگرداندار همواره بزرگ‌تر از کمیت‌های مشابه برای گاوآهن بشقابی بوده و این تفاوتها خصوصاً درسطح رطوبت بالاتر (۱۸ - ۱۶ درصد)بارزتر است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.4.8.3]

جدول ۸- مقایسه مقاومت کششی گاوآهنهای برگرداندار[1] 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			
	۲۰		۲۵	
	برگرداندار	بشقابی	برگرداندار	بشقابی
۱۰-۱۲	۱۴/۹۴	۱۳/۴۲	۱۷/۹۱	۱۴/۷۱
۱۶-۱۸	۱۳/۷۵	۹/۷۸	۱۷/۶۴	۱۰/۸۰

۱- اقتباس از مرجع شماره ۱۱

جدول ۹- مقایسه مقاومت ویژه گاوآهنهای برگرداندار[1] 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			
	۲۰		۲۵	
	برگرداندار	بشقابی	برگرداندار	بشقابی
۱۰-۱۲	۸/۳۱	۶/۸۱	۷/۹۶	۵/۹۱
۱۶-۱۸	۷/۶۳	۴/۴۵	۷/۸۰	۴/۲۵

۱- اقتباس از مرجع شماره ۱۱

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 این‌که با حرکت چرخشی خود خاک را راحت‌تر از تیغه گاوآهن برگرداندار برش می‌دهد، نیمرخی 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 برروی بشقابهای گاوآهن بشقابی، نسبت به صفحه برگردان گاو آهن برگرداندار کوچک‌تر بوده و طبعاً مولفه اصطکاکی واکنش خاک بر روی بشقابها کوچک‌تر می‌باشد.

۳ - نیروهای زائد[1] وارد از طرف خاک بر گاوآهن برگرداندار، عمدتاً توسط کفش و پاشنه[2] دریافت می‌شود، در حالی که در گاوآهن بشقابی این نیروها عمدتاً بر چرخ شیار عقب وارد می‌گردد. با توجه به این‌که نیروهای اصطکاکی وارد بر کفش و پاشنه، که از نوع لغزشی[3] است ،به مراتب بزرگ‌تر از اصطکاک غلتشی[4] 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 بدین‌وسیله از شورای محترم پژوهشی دانشگاه شیراز به خاطر تصویب و تامین اعتبار اجرای این طرح سپاسگزاری می‌گردد.

1- Parasitic forces 2- Landside and sole 3- Sliding resistance 4- Rolling resistance

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.4.8.3]

منابع مورد استفاده

۱- شفیعی، س. ا. ۱۳۷۴. ماشین‌های خاک‌ورزی. مرکزنشر دانشگاهی، تهران ، ۲۱۶ صفحه.

۲ - لغوی، م. وس.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، جلداول، 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., Westpert, 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.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1377.2.4.8.3]