تأثیر زاویه حمله تیغه و فرکانس ارتعاش بر عملکرد یک چغندرکن ارتعاشی سه واحدی در برداشت کشت‌های ۵۰ سانتی‌متری

امین اله معصومی*، عباس همت و مجید رجبی[۱]

(تاریخ دریافت: ۸۵/۸/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۱۲/۷)

چکیده

در سال‌های اخیرکشت چغندر قند در ردیف‌های ۵۰ سانتی‌متری به دلیل افزایش عملکرد آن در مقایسه با کشت ۶۰ سانتی مورد استقبال کشاورزان کشورمان قرار گرفته است. فاصله کم بین ردیف‌های کشت در این روش، برداشت سه ردیف به جای دو ردیف محصول را ایجاب می‌نماید که به این علت مقاومت کششی دستگاه چغندرکن افزایش می‌یابد. به منظور امکان کشیدن چغندرکن سه ردیفه با تراکتورهای میان قدرت موجود در کشور و درآوردن مؤثر غده‌های چغندرقند از خاک ارتعاشی کردن ساقه‌های چغندرکن مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق اثر فرکانس ارتعاش و زاویه حمله تیغه بر عملکرد یک دستگاه چغندرکن ارتعاشی مورد مطالعه قرار گرفت. درصد لغزش چرخ‌های محرک تراکتور، درصد چغندرهای شکسته شده و باقی‌مانده و هم‌چنین مقاومت کششی دستگاه در چهار سطح فرکانس ارتعاش ساقه‌ها (صفر، ۹، ۱۰ و۱۲ هرتز) و سه زاویه حمله تیغه چغندرکن (۱۱، ۲۴ و۳۶ درجه) در قالب فاکتوریل با طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که روند تغییرات مقاومت کششی دستگاه و لغزش چرخ‌های محرک تراکتور با تغییر فرکانس ارتعاش و زاویه حمله تیغه، مشابه بود. اگر چه کمترین مقدار مقاومت کششی در حالت بدون ارتعاش و زاویه حمله ۲۴ درجه به‌دست آمد، ولی حدود ۵۰ در صد غده‌ها در خاک باقی‌مانده و به سطح خاک آورده نشدند، در صورتی که در حالت ارتعاشی با فرکانس بیش از ۱۰ هرتز فقط حدود ۲۰ در صد غده‌ها در خاک باقی‌ماندند. بنابراین، ارتعاشی کردن بازوهای چغندرکن، موجب اعمال مؤثرتر انرژی جداسازی غده‌ها از خاک شد. برای انتخاب زاویه حمله و فرکانس مناسب، نسبت مقاومت کششی دستگاه به درصد چغندرهای درآورده شده (چغندرهای سالم و شکسته شده) (K) به عنوان معیار مرکب تعریف گردید. نسبت K برای ترکیب‌های مختلف زاویه حمله تیغه و فرکانس ارتعاش محاسبه و مورد تجزیه وتحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌های پارامترهای اندازه‌گیری شده و نسبت K نشان داد که مناسب‌ترین ترکیب، زاویه حمله تیغه ۲۴ درجه و فرکانس ارتعاش ۹ هرتز است که در این حالت کمترین درصد غده‌های باقی‌مانده و شکسته مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: فرکانس، زاویه حمله، چغندرکن ارتعاشی، عملکرد

مقدمه

چغندرقند یکی از دو محصولی است که به عنوان منابع تأمین کننده ساکارز در کشور کشت می‌شود (۲). طبق تحقیقات انجام شده، کشت چغندر در ردیف‌های ۵۰ سانتی‌متری دارای عملکرد بیشتری نسبت به فاصله ردیفی ۶۰ سانتی‌متری می‌باشد (۳). به اظهار مدیران کارخانه‌های قند نقش جهان، اصفهان،

۱. به ترتیب استادیار، استاد و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: masoumi@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.18.3]

اقلید و مرودشت فارس که طی مذاکره بیان نمودند، نتیجه تجربیات و تحقیقات آنها مؤید موضوع فوق بوده است. در مزارع چغندرقند که فاصله بین ردیف‌های کشت ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد، برای کاهش مقاومت کششی ماشین برداشت، محصول را با یک دستگاه چغندرکن دو ردیفه به صورت یک در میان بیرون می‌آورند. اما استفاده از چغندرکن دو ردیفه در مزارع چغندرقند که با فواصل ردیف‌های ۵۰ سانتی‌متری کشت شده‌اند، ایجاد مشکل می‌نماید، زیرا چرخ‌های تراکتور در دورهای بعدی به خاطر کم بودن فاصله بین ردیف‌ها، چغندرهای درآورده شده را مجدداً به درون خاک می‌فرستد. از این رو کشاورزان برای برداشت چغندرقند با فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر، به ماشین چغندر کن سه ردیفه روی می‌آورند که به نوبه خود مشکلاتی دارد. عمده ترین مشکل موجود، توان کششی مورد نیاز بالا برای بیرون آوردن مؤثرهم زمان سه ردیف محصول می‌باشد که در مزارع با عملکرد بالا و بافت سنگین خاک، این مشکل حادتر می‌شود. هم چنین به علت کم بودن فاصله ردیف‌ها، همپوشانی برگ‌های چغندرقند در کف جوی‌های ردیف‌های مجاور موجب لغزش چرخ‌های تراکتور گردیده که به نوبه خود امکان استفاده از حداکثر توان کششی تراکتور را کاهش می‌دهد. هر چند برگ زنی بوته‌های چغندرقند چند روز قبل از برداشت لغزش بالای چرخ‌های تراکتور در حین برداشت را تا حدودی کاهش می‌دهد، اما مشکل مقاومت کششی بالای دستگاه چغندرکن در برداشت سه ردیف به صورت هم زمان به مقدار ناچیزی برطرف می‌گردد که بایستی به روش‌های دیگری بر آن فائق آمد.

مقاومت کششی ادواتی که باعث سست شدن خاک و ریشه گیاه می‌گردند به طور قابل ملاحظه‌ای با ارتعاش عضوهای درگیر با خاک کاهش می‌یابد. یکی از علل کاهش مقاومت کششی، تماس کمتر ابزار خاک‌ورز با خاک به هنگام ارتعاش ادوات می‌باشد (۶). هم چنین کاهش نیروی اصطکاکی روی وسیله خاک‌ورز، عامل کاهش مقاومت کششی در اثر ارتعاش شناخته شده است (۱۰). آزمایش‌های انجام شده روی مدل‌های آزمایشگاهی تیغه بولدوزر، گاو آهن‌های برگرداندار و قلمی نشان داد که اگر ارتعاش در جهت حرکت تراکتور (جهت طولی) اعمال شود، موجب کاهش مقاومت کششی در حدود ۷۱ تا ۹۳ درصد می‌گردد (۱۴). همت و همکاران (۵) یک کاهش ۳۳ درصدی در مقاومت کششی یک زیرشکن تک شاخه‌ای تیغه ارتعاشی را گزارش نمودند. فرکانس، دامنه ارتعاش و سرعت پیشروی دستگاه بر مقاومت کششی آن تأثیر بسزایی دارد. کانگ و همکاران (۸) اثر ارتعاش را بر مقاومت کششی ماشین سیب زمینی کن ارتعاشی در چهار دامنه و چهار فرکانس و سه سرعت پیشروی مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند با انتخاب فرکانس، دامنه و سرعت پیشروی مناسب کاهش توان کششی کل تا ۴۸/۵ درصد مقدور می‌باشد. ساکای و همکاران (۱۲) یک کاهش ۶۰ درصدی در مقاومت کششی یک زیرشکن چهار شاخه ساقه ارتعاشی در دامنه ارتعاش ۵ سانتی‌متر و فرکانس ارتعاش ۳/۴ هرتز به دست آوردند.

به زاویه بین رویه ابزار خاک‌ورز و سطح افق، زاویه حمله (Rake Angle) اطلاق می‌گردد. زاویه حمله بر مقاومت کششی و نیروی عمودی خاک تأثیر قابل توجهی دارد. وقتی ابزار به جای نیروی فشاری- طولی نیروی بالا سوی برشی به خاک اعمال کند، گسیختگی و نرم شدن خا ک با حداقل تلاش انجام می‌گیرد (۱). تونگ و مؤید (۱۶) دریافتند که مقاومت کششی با تغییر زاویه حمله، تغییر می‌یابد. آنها مشاهده کردند که کمینه مقاومت کششی در زاویه حمله ۴۵ درجه بوده است. در مقادیر بیش از ۴۵ درجه، مقاومت کششی افزایش یافته و بیشینه مقدار آن در زاویه حمله ۷۵ درجه به دست آمد. آزمایش‌های انجام شده توسط گادوین و اسپور (۷) با تیغه‌های خاک‌ورز باریک در سه زاویه حمله و سه نوع خاک متراکم نشده، نشان داد که با کاهش زاویه حمله، مقاومت کششی به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. محققین دیگری گزارش نمودند که با تقلیل زاویه حمله، حداقل تا ۲۰ درجه، مقاومت کششی کاهش می‌یابد (۱۳ و ۱۵).

لغزش چرخ‌های محرک تراکتور با مقاومت کششی ادوات دتباله بند در ارتباط است. همت و همکاران (۵) در مطالعه‌ای

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.18.3]

که روی یک زیرشکن تیغه ارتعاشی دریافتند که با افزایش فرکانس ارتعاش، روند تغییر لغزش چرخ‌های محرک تراکتور مشابه تغییر مقاومت کششی دستگاه بود. معصومی کله‌لو و لغوی (۹) در مطالعه‌ای که روی عملکرد انواع تراکتورهای متداول در ایران، انجام دادند به این نتیجه رسیدند که لغزش چرخ‌های محرک تراکتور رابطه‌ای مستقیم با مقاومت کششی ادوات دارد.

با افزایش درجه مکانیزاسیون در عملیات برداشت و پس از برداشت، مسأله آسیب‌های مکانیکی در گیاهان غده‌ای بیشتر مطرح می‌شود. عوامل مؤثر بر آسیب‌های وارده بر غده‌ها شامل رقم، درجه رسیدگی غده‌ها، شرایط محیطی و هم‌چنین به کارگیری نادرست ماشین برداشت می‌باشد. میزان آسیب‌هایی که در اثر برخورد در غده‌ها ایجاد می‌شود به خواص مکانیکی و رئولوژیکی غده‌ها و نیروهای خارجی اعمال شده به آن بستگی دارد. بنابراین، کنترل میزان آسیب‌ها، افزون بر عوامل محیطی، به کاهش نیروهای خارجی اعمال شده به غده در حین کندن و مراحل مختلف جابه جایی غده‌ها نیز بستگی دارد (۴).

به منظور فائق آمدن برمشکلات ماشین برداشت سه ردیفه چغندر قند در کشورمان، دستگاه سه واحدی ماشین چغندرکن ارتعاشی اونزین ساخت کشور آلمان مورد استفاده قرار گرفت که در خاک‌های نسبتاً سنگین و هم‌چنین در شرایطی که عملکرد محصول بالا ست کارایی نداشته است. از طرفی این دستگاه دارای کنار زن برگ و ردیف کن چغندر می‌باشد که طول دستگاه را زیاد می‌کند و به علت کوچکی مزارع کشور مورد استقبال زارعین کشورمان قرار نگرفته است. برای حل این مشکل یک نمونه مشابه که فاقد کنار زن برگ و ردیف کن می‌باشد، ساخته شد و در تحقیق حاضر استفاده گردید. از آنجا که برای برداشت مؤثر (بیرون آوردن بیشتر چغندرها از خاک و قرار دادن آنها روی سطح خاک) در شرایط مزارع کشورمان، انتخاب فرکانس ارتعاش و زاویه حمله مناسب ضروری است، در این تحقیق به بررسی تأثیر این پارامترها بر عملکرد دستگاه یادشده پرداخته شد. بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده، اهداف پروژه حاضر عبارت بودند از بررسی اثر فرکانس ارتعاش و زاویه حمله تیغه بر:

الف) درصد چغندرهای شکسته شده و باقی‌مانده در خاک

ب) مقاومت کششی چغندرکن و لغزش چرخ‌های محرک تراکتور کشنده و هم‌چنین توصیه ترکیب فرکانس ارتعاش و زاویه حمله تیغه مناسب با توجه به درصد چغندرهای شکسته شده و درآورده شده از خاک و مقاومت کششی دستگاه.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در شهرستان نجف آباد اجرا گردید. بافت خاک مزرعه، لوم رسی (Clay loam) با جرم مخصوص ظاهری حدود ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و pH خاک حدود ۷/۵ بود. رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی، به ترتیب ۲۳ و ۱۰ درصد وزنی بر پایه تر به دست آمد. متوسط درصد وزنی رطوبت خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری در زمان برداشت چغندر برابر ۱۲/۱ درصد بر پایه تربود.

مساحت مزرعه چغندر قند مورد آزمایش با در نظر گرفتن حاشیه‌های پایین و بالای هر کرت برای دور زدن برابر ۲/۴ هکتار بود و طول هر کرت آزمایشی ۸۰ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت آزمایشی سه ردیف وسط برداشت می‌شد و دو ردیف، یکی از راست و دیگری از چپ، دست نخورده باقی می‌ماند. بدین ترتیب هر کرت آزمایشی شامل ۵ ردیف و جمعا به عرض ۲/۵ متر بود. فاصله بین ردیف‌های کشت ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بین دو بوته متوالی روی یک ردیف در زمان کاشت و پس از تنک کردن به ترتیب برابر ۷ و ۲۵ سانتی‌متر بود. برای کاشت مزرعه تعداد ۷ واحد صد هزارتایی بذر منوژرم رقم ۷۱۱۲ ایرانی به وسیله یک ردیف کار ۶ ردیفه با موزع صفحه‌ای، با تراکم ۲۸۶۰۰۰ بوته در هکتار کشت گردید. عملیات آماده‌سازی، کاشت و کولتیواتورزنی، کودهی، سمپاشی، وجین علف‌های هرز، مبارزه با آفات و آبیاری مزرعه با نظارت مدیر مزرعه و کارشناس شرکت قند اصفهان انجام

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.18.3]

شکل ۱. چغندرکن ارتعاشی مورد آزمایش بدون واحد کنارزن برگ و ردیف کن (نمونه مشابه اونزین).

شد. در عملیات برداشت عمق کار تیغه‌ها ۱۶ سانتی‌متر بود که طی آزمایشات اولیه مناسب‌ترین عمق کاری تشخیص داده شد. متوسط عملکرد مزرعه ۶۵ تن در هکتار و متوسط عیار چغندرها ۱۴/۵ بود. دامنه قطر سر غده‌ها (زیر طوقه) ۸ تا ۱۵ سانتی‌متر و دامنه ارتفاع غده‌ها (از سر طوقه تا انتهای ریشه) ۱۷ تا ۳۵ سانتی‌متر بود.

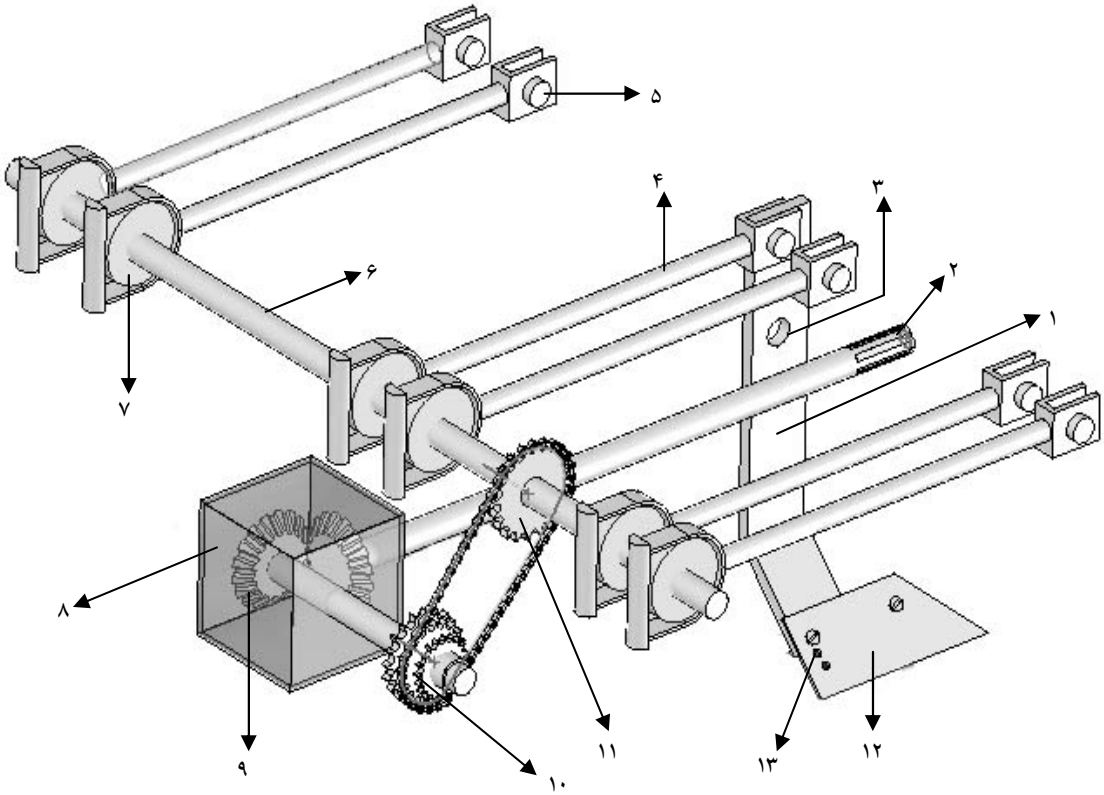
در انجام آزمایش‌ها از یک نمونه چغندرکن ساقه ارتعاشی، مشابه چغندرکن اونزین بدون واحد کنار زن برگ و ردیف کن استفاده گردید که به کمک یک صنعتگر اصفهانی در سال ۱۳۸۳ ساخته شده بود. این چغندرکن، سه ردیفه بوده و فاصله بین هر دو واحد کنار هم برابر ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۱). سیستم مرتعش کننده ساقه‌ها بدین صورت است که دوران محور توان دهی تراکتور به یک محور طولی (۲ در شکل ۲) و از آن به یک جعبه‌دنده منتقل شده و پس از ۹۰ درجه تغییر جهت با نسبت یک به یک (۹ در شکل۲) به یک چرخ زنجیر منتقل می‌شود. دوران توسط سیستم چرخ‌زنجیر (۱۰ در شکل۲) با نسبت متغیر به یک محور عرضی که روی آن ۶ عدد بشقاب خارج از مرکز سوار است، انتقال می‌یابد (۶ و ۷ در شکل۲). هر کدام از این بشقاب‌های خارج از مرکز متناظر با یک بازو بوده و توسط یک میله رابط با بازو ارتباط دارد (۴ در شکل ۲). دوران محور عرضی توسط این بشقاب‌های خارج از مرکز و میله‌های رابط به بازوها، که در نقطه اتصال به شاسی حالت لولایی دارند (۳ در شکل ۲)، منتقل شده و به آنها حرکت نوسانی می‌دهد.

به زاویه بین لبه پایینی تیغه و سطح افق، زاویه حمله تیغه گفته می‌شود. هر تیغه توسط دو پیچ و مهره، یکی در جلو و دیگری در عقب، به انتهای بازو دستگاه متصل شد. به منظور تغییر زاویه حمله تیغه، در انتهای هر تیغه سه سوراخ ایجاد شد که با باز کردن پیچ انتهای تیغه و تعویض سوراخ، زاویه حمله تیغه تغییر می‌کرد. به منظور تغییر فرکانس ارتعاش، برای سیستم چرخ زنجیر که دوران را از جعبه‌دنده به بشقاب‌های خارج از مرکز منتقل می‌نمود، سه عدد چرخ زنجیر محرک با قطرهای مختلف ساخته شد. با تعویض چرخ زنجیر محرک، فرکانس ارتعاش تغییر می‌کرد (۱۰ در شکل ۲). برای جلوگیری از شل یا سفت شدن زنجیر نیز طول زنجیر هم زمان با تعویض چرخ زنجیر تغییر داده می‌شد.

به منظور آماده‌سازی دستگاه برای آزمایش‌های نهایی، یک سری آزمایش‌های اولیه برای ارزیابی و اصلاح عملکرد آن در مناطق مختلف شهرستان‌های اقلید و اصفهان انجام شد. در این

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.18.3]



شکل۲. نحوه تامین توان سیستم مرتعش کننده بازوهای چغندرکن. (۱) بازو، (۲) محل اتصال محور طولی به چهار شاخ گردان، (۳) نقطه اتصال لولایی بازو به شاسی چغندرکن، (۴) میله رابط، (۵) نقطه اتصال لولایی میله رابط به بازو، (۶) محور عرضی، (۷) بشقاب خارج از مرکز، (۸) پوسته جعبه‌دنده، (۹) چرخ دنده‌های مخروطی تغییر جهت دوران، (۱۰) چرخ زنجیرهای محرک، (۱۱) چرخ زنجیر متحرک، (۱۲) تیغه چغندرکن و (۱۳) سوراخ‌های تعبیه شده روی تیغه برای تغییر زاویه حمله تیغه.

آزمایش‌ها، داده‌برداری صورت نگرفت، بلکه به صورت مشاهده‌ای عملکرد دستگاه ارزیابی شد و نواقص آن برطرف گردید.

پس از اصلاح نسبی دستگاه به نحوی که می‌توانست به طور مناسب در خاک نفوذ کرده و چغندرها را در آورد، طرح اصلی اجرا گردید. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل ۴×۳ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شدند. آزمایش‌ها در سه سطح زاویه حمله تیغه (۱۱، ۲۴ و ۳۶ درجه) و چهار سطح فرکانس ارتعاش (صفر، ۹، ۱۰ و ۱۲ هرتز) انجام گرفتند. حالت بدون ارتعاش به عنوان فرکانس صفر در نظر گرفته شد. نحوه انتخاب سطوح مختلف زاویه حمله تیغه و فرکانس ارتعاش بر اساس آزمایش‌های مشابه انجام شده توسط محققان دیگر بود (۵، ۸ و ۱۶).

پارامترهای اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: ۱) مقاومت کششی دستگاه، ۲) لغزش چرخ‌های محرک تراکتور، ۳) درصد چغندرهای شکسته شده و۴) درصد چغندرهای باقی‌مانده در خاک.

برای اندازه‌گیری مقاومت کششی دستگاه از روش دو تراکتوری استفاده شد. مقادیر مقاومت کششی به وسیله یک دینامومتر کششی اندازه‌گیری شد. بدین صورت که دستگاه به تراکتور عقبی (تراکتور حامل) متصل شد و تراکتور جلویی (تراکتور کشنده) به وسیله دو رشته زنجیر، که هر کدام از یک سر به دینامومتر متصل می‌شدند و آن را بین خود نگه می‌داشتند، تراکتور حامل را می‌کشید. ابتدا دستگاه در حالت بی باری (حالتی که دستگاه به تراکتور اتصال داشته اما در حال کار نبود) و تراکتور

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.18.3]

حامل در وضعیت خلاص قرار گرفت. سپس تراکتور کشنده، تراکتور حامل را می‌کشید. سپس به روش مشابه میانگین مقاومت کششی تراکتور حامل و دستگاه در حین کار قرائت و ثبت گردید. مقاومت کششی خالص دستگاه از تفاضل میانگین مقاومت کششی به دست آمده در دو حالت ذکر شده از هر کرت به دست آمد (۸). دینامومتر مالبندی مورد استفاده در این تحقیق، ساخت شرکت Novatech و حداکثر ظرفیت آن برابر ۵۰ کیلو نیوتن بود. تراکتور حامل، تراکتور اونیورسال مدل U-۶۵۰ و تراکتور کشنده، تراکتور جاندیر مدل ۳۱۴۰ بود. هر دو تراکتور برای حرکت در بین ردیف‌های کشت، مجهز به تایرهای باریک بودند. در تمامی آزمایش‌ها، تراکتور کشنده با دنده ۴ سنگین، دور موتور ۱۵۰۰ دور بر دقیقه و سرعت ۴/۲ کیلومتر بر ساعت کار می‌کرد. تراکتور حامل نیز در تمامی آزمایش‌ها به جز آزمایش اندازه‌گیری مقاومت غلتشی و حالت‌های بدون ارتعاش، با دور محور تواندهی ۵۴۰ دور بر دقیقه کار می‌کرد. برای هر اندازه‌گیری مقاومت کششی، حداقل ۴۰ مقدار نیرو از دینامومتر مالبندی از زمان رسیدن دستگاه به عمق پایدار با تناوب زمانی حدود ۱ ثانیه قرائت شد (۸). حدود ۱۰ متر ابتدای هر کرت آزمایشی برای رسیدن دستگاه به عمق مناسب در نظر گرفته شد که در این فاصله هیچ پارامتری اندازه‌گیری نشد.

آزمایش‌های لغزش چرخ هم زمان با آزمایش‌های مقاومت کششی در کرت‌هایی جداگانه با تراکتور کشنده دستگاه اجرا گردید. دلیل این امر آن بود که هدف اندازه‌گیری لغزش چرخ‌های محرک تراکتور حامل دستگاه در حالت کشش مستقل دستگاه چغندرکن بود. به منظور تعیین میزان لغزش چرخ‌های محرک تراکتور، طول نظری و طول واقعی طی شده در ۱۰ دور چرخش چرخ‌های محرک تراکتور اندازه‌گیری شد(۹). لغزش چرخ‌های محرک تراکتور از رابطه زیر محاسبه گردید:

[۱] لغزش = [طول نظری/ (طول واقعی – طول نظری)] × ۱۰۰

لازم به توضیح است که شمارش ۱۰ دور چرخش چرخ عقب، زمانی آغاز می‌شد که دستگاه به عمق پایدار می‌رسید. آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گردید.

در اندازه‌گیری درصد چغندرهای شکسته شده چنانچه ۲۰ درصد از ارتفاع در قسمت پایین غده (قسمتی که در خاک قرار دارد) یا بیشتر از آن، دچار شکست می‌شد آن غده جزء غده‌های شکسته شده به شمار می‌آمد که در آن صورت باقی‌مانده آن غده در خاک، جزء چغندرهای باقی‌مانده در خاک محسوب نمی‌شد (۴). در اندازه‌گیری درصد چغندرهای باقی‌مانده در خاک دو حالت وجود داشت: ۱- غده کاملاً دست نخورده باقی می‌ماند و هیچ گونه جابه جایی و تکانی توسط تیغه‌ها به آن وارد نمی‌شد. ۲- پیوند بین ریشه‌های غده و خاک از هم گسیخته می‌شد اما غده از خاک بالا نمی‌آمد و در جای خود مستقر بود. در حالت اول، غده به عنوان یک غده باقی‌مانده در خاک به حساب آمد و در حالت دوم، چنانچه غده به سهولت و با اعمال نیرویی اندک از طرف کارگر از خاک جدا می‌شد جزء غده‌های برداشت شده محسوب شد، اما اگر برای جداسازی آن از خاک، نیاز به یک وسیله کمکی مانند بیل داشت در این صورت جزء غده‌های باقی‌مانده در خاک به حساب آمد.

برای اندازه‌گیری درصد غده‌های شکسته شده و باقی‌مانده در خاک، یک کادر چوبی ۵ × ۱/۵ متر تهیه گردید (۴). پس از انجام هر آزمایش مقاومت کششی، به طور تصادفی یک نقطه از اواسط هر کرت انتخاب شد و با گذاشتن کادر مزبور در آن نقطه، تعداد چغندرهای سالم، شکسته شده و باقی‌مانده در خاک که در داخل کادر قرار داشتند، شمارش گردید. سپس درصد فراوانی نسبی چغندرهای شکسته شده و باقی‌مانده در خاک با تقسیم تعدادشان بر تعداد کل چغندرها در این مساحت و ضرب در عدد ۱۰۰ به دست آمد.

پس از انجام آزمایش‌ها، داده‌های حاصل مورد تجزیه وتحلیل آماری قرار گرفتند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار آماری SAS ویرایش ۸/۲ (۱۱) و در صورت معنی‌دار بودن برای بررسی اثرات متقابل از نرم افزار آماری MSTATC استفاده شد. میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از آزمون LSD با یکدیگر مقایسه شدند. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار EXCEL استفاده گردید.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.18.3]

جدول ۱. اثر زاویه حمله تیغه و فرکانس ارتعاش بر میانگین مقاومت کششی چغندرکن، لغزش چرخ‌های محرک تراکتور، درصد چغندرهای شکسته شده و باقی مانده در خاک*

عوامل آزمایش	مقاومت کششی (کیلونیوتن)	لغزش چرخ‌های محرک (درصد)	غده‌های شکسته شده (درصد)	غده‌های باقی مانده در خاک (درصد)
زاویه حمله تیغه (درجه)				
۱۱	۱۰/۷[a]	۲۱/۲[a]	۱۱/۶[a]	۳۱/۴[a]
۲۴	۹/۸[b]	۱۷/۱[b]	۸/۱[ab]	۲۰/۶[b]
۳۶	۱۰/۵[a]	۲۱/۹[a]	۶/۴[b]	۳۰/۳[a]
فرکانس ارتعاش (هرتز)				
۰	۱۰/۵[b]	۲۳/۴[b]	۱۰[a]	۵۰/۹[a]
۹	۱۱/۳[a]	۲۸[a]	۳/۵[b]	۲۰/۵ [b]
۱۰	۹/۶[c]	۱۲/۹[d]	۸/۸[a]	۲۱/۲ [b]
۱۲	۱۰[c]	۱۶/۲[c]	۱۲/۶[a]	۱۷/۲ [b]

* : میانگین‌ها در هر عامل آزمایشی و در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

نتایج و بحث

۱. مقاومت کششی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر زاویه حمله تیغه و فرکانس ارتعاش در سطح احتمال ۵ درصد بر مقاومت کششی چغندر کن معنی‌دار است. شماری از محققان قبلی همچون همت وهمکاران (۵)، ساکای و همکاران (۱۲) و کانگ و همکاران (۸) کاهش مقاومت کششی را بر اثر ارتعاشی نمودن آنها گزارش نموده‌اند. هم‌چنین تونگ و مؤید (۱۶) تأثیر معنی‌دار تغییر زاویه حمله بر مقاومت کششی را بررسی و گزارش نمودند. جدول ۱ مقایسه میانگین‌های مقاومت کششی، درصد لغزش چرخ‌های محرک تراکتور، درصد چغندرهای شکسته شده و باقی‌مانده در خاک را در سطوح مختلف زاویه حمله تیغه و فرکانس ارتعاش نشان می‌دهد.

مقاومت کششی در فرکانس‌های ۱۰ و ۱۲ هرتز اختلاف معنی‌داری نداشتند، اما در مقایسه با مقادیر به دست آمده در فرکانس‌های صفر و ۹ هرتز این اختلافات معنی‌دار بود. احتمالاً در فرکانس ۹ هرتز به علّت نفوذ مناسب دستگاه (که حداقل بودن درصد غده‌های شکسته مؤید آن می‌باشد) و در فرکانس صفر به علّت ارتعاشی نبودن تیغه‌ها، مقاومت کششی افزایش یافت.

مقاومت کششی چغندر کن در زاویه حمله ۱۱ درجه بیشترین مقدار را داشت که اختلاف معنی‌داری با مقدار به‌دست آمده در زاویه حمله ۳۶ درجه نداشت، اما حالت‌های فوق با مقدار به دست آمده در زاویه حمله ۲۴ درجه اختلاف معنی‌داری داشتند. در زاویه ۱۱ درجه، بیشترین درصد شکستگی غده‌ها به دست آمد، بنابراین مقدار زیادی از انرژی مصرف شده دستگاه برای شکستن غده‌ها صرف شد و احتمالاً همین امر علّت بالا رفتن مقاومت کششی دستگاه در این زاویه بود.

نتایج تجزیه واریانس تأثیر برهمکنش عوامل آزمایشی (زاویه حمله و فرکانس ارتعاش) بر پارامترهای اندازه‌گیری شده نشان داد که در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به منظور بررسی و انتخاب مناسب‌ترین ترکیب زاویه حمله و فرکانس ارتعاشی، اثر برهمکنش عوامل آزمایشی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.18.3]

جدول ۲. اثر برهمکنش زاویه حمله تیغه و فرکانس ارتعاش بر پارامتر های اندازه گیری و محاسبه شده*

ترکیب	عوامل آزمایش		پارامترها				
	زاویه حمله (درجه)	فرکانس (هرتز)	مقاومت کششی (کیلو نیوتن)	لغزش چرخ‌ها (درصد)	غده‌های شکسته (درصد)	غده‌های باقی مانده (درصد)	نسبت K (کیلونیوتن به ازای درصد چغندر در آمده)
	۱۱						
۱		۰	۱۱/۷^{ab}	۳۱/۲ ^{b}	۱۶/۸^{ab}	۳۶/۲^{c}	۰/۱۸۶^{bc}
۲		۹	۱۰/۷^{cd}	۳۶/۱^{a}	۵/۸^{c}	۴۵/۳^{bc}	۰/۱۹۷^{b}
۳		۱۰	۱۰/۴^{d}	۶/۸^{h}	۶/۱^{c}	۲۴/۴^{d}	۰/۱۳۷^{cd}
۴		۱۲	۱۰/۱^{d}	۱۰/۸^{g}	۱۷/۸^{a}	۱۹/۸^{de}	۰/۱۲۶^{d}
	۲۴						
۵		۰	۷/۸^{f}	۱۵/۸^{def}	۸/۸^{bc}	۴۷/۵^{b}	/۱۴۹^{bcd}
۶		۹	۱۱/۹^{ab}	۱۶/۷^{de}	۱/۴^{c}	۵/۱^{f}	۰/۱۲۵^{d}
۷		۱۰	۹/۲^{e}	۱۲/۶^{fg}	۴/۶^{c}	۱۸/۸^{de}	۰/۱۱۲^{d}
۸		۱۲	۱۰/۶^{cd}	۲۳/۳^{c}	۱۷/۴^{a}	۱۱^{ef}	۰/۱۲^{d}
	۳۶						
۹		۰	۱۲/۱^{a}	۲۳/۲^{c}	۴/۴^{c}	۶۶/۹^{a}	۰/۴۰۴^{a}
۱۰		۹	۱۱/۲^{bc}	۳۱/۹^{b}	۳/۲^{c}	۱۱^{ef}	۰/۱۲۶^{d}
۱۱		۱۰	۹/۳^{e}	۱۸/۶^{d}	۱۵/۶^{ab}	۲۰/۴^{de}	۰/۱۱۸^{d}
۱۲		۱۲	۹/۳^{e}	۱۴/۴^{ef}	۲/۶^{c}	۲۰/۸^{de}	۰/۱۱۸^{d}

* : میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

بر پارامترهای اندازه‌گیری شده به صورت جدول ۲ تنظیم گردید. بیشترین مقاومت کششی در ترکیب ۹ (غیرارتعاشی و با زاویه حمله ۳۶ درجه) مشاهده می‌شود که شاهد بیشترین در صد چغندرهای باقی‌مانده در خاک نیز می‌باشیم. ارتعاشی نبودن ساقه‌های چغندرکن و زیاد بودن زاویه حمله تیغه، علل احتمالی افزایش مقاومت کششی بوده است. لیکن به علت باقی‌ماندن غده‌های بیشتر در خاک شاهد لغزش کمتر چرخ بوده‌ایم.

در ترکیب ۱ (غیر ارتعاشی با زاویه حمله ۱۱ درجه) بیشترین درصد چغندرهای شکسته شده مشاهده شد، بنابراین انرژی بیشتر صرف شکستن غده‌ها شد تا در آوردن آنها و احتمالاً همین امر و ارتعاشی نبودن دستگاه سبب بالاتر رفتن مقاومت کششی در این ترکیب گردید و به علت کم بودن زاویه حمله دستگاه نفوذ کافی در خاک نداشته است و باعث شکستگی بیشتر غده‌ها شده است. کمترین مقدار مقاومت کششی در ترکیب ۵ (غیر ارتعاشی با زاویه حمله ۲۴ درجه) مشاهده گردید. در این ترکیب کمترین درصد چغندرهای شکسته شده به دست آمد و درصد زیادی از چغندرها نیز از خاک در نیامدند. این امر نشان می‌دهد که دستگاه در این ترکیب، عمق کاری اندکی داشته و به طور سطحی در حال کار بود و احتمالاً همین امر سبب پایین آمدن مقاومت کششی در این ترکیب گردیده است. اما در ترکیب ۶ (ارتعاشی با فرکانس ۹ هرتز و زاویه حمله ۲۴ درجه) بر عکس ترکیب ۵، شاهد بیشترین مقاومت کششی دستگاه و کمترین درصد غده‌های باقی‌مانده و شکسته شده بوده‌ایم. بنابراین می‌توان ادعا کرد که مقاومت کششی دستگاه صرف کار مفید (درآوردن چغندر از خاک) طی عملیات برداشت شده است.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.18.3]

۲. لغزش چرخ‌های محرک تراکتور

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر زاویه حمله تیغه و فرکانس ارتعاش چغندرکن در سطح احتمال ۵ در صد بر لغزش چرخ‌های محرک تراکتور معنی‌دار است. مقایسه بین میانگین‌های مقاومت کششی و لغزش چرخ‌های محرک در جدول ۱ نشان می‌دهد که روند تغییر این دو پارامتر با تغییر فرکانس ارتعاش و زاویه حمله تیغه، رفتاری مشابه دارند. این امر نشان می‌دهد که لغزش چرخ‌های محرک تراکتور رابطه‌ای مستقیم با مقاومت کششی دستگاه دارد و با افزایش مقاومت کششی، لغزش چرخ‌ها نیز افزایش می‌یابد. نتایج مشابه در ارزیابی مقاومت کششی گاوآهن قلمی با استفاده از دو تراکتور متداول در ایران نیز گزارش شده است(۹).

۳. چغندرهای شکسته شده و باقی‌مانده در خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد چغندرهای شکسته شده و باقی‌مانده در خاک در سطح ۵ درصد تحت تأثیر زاویه حمله تیغه و فرکانس ارتعاش چغندرکن قرار دارند. میانگین چغندرهای باقی‌مانده در خاک در حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش (فرکانس صفر) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۱). همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود بیش از ۵۰ درصد غده‌های چغندر پس از عملیات برداشت توسط چغندرکن با بازوهای بدون ارتعاش همچنان در خاک باقی‌مانده است، در حالی که با ارتعاشی کردن بازوهای چغندرکن این مقدار به ۲۱ در صد رسیده است.

مقایسه مقادیر میانگین درصد چغندرهای شکسته شده در زوایای حمله مختلف نشان داد که با افزایش زاویه حمله تیغه، درصد چغندرهای شکسته شده کاهش می‌یابد (جدول ۱). علت این امر احتمالاً این است که با افزایش زاویه حمله، دستگاه در عمق مناسب‌تری قرار گرفته و لذا درصد شکستگی غده‌ها کاهش یافته است. با توجه به جدول ۱، از مقایسه مقادیر میانگین درصد غده‌های شکسته شده در فرکانس‌های مختلف، بدون در نظر گرفتن مقدار به دست آمده برای درصد شکستگی غده‌ها در فرکانس صفر، می‌توان استنباط نمود که با افزایش فرکانس، درصد غده‌های شکسته شده افزایش می‌یابد. علت این امر احتمالاً این است که با افزایش فرکانس، تمایل برای خارج نمودن غده‌ها از خاک افزایش یافته است. اما شاید به دلایلی مثل سنگین بودن بافت خاک و یا عدم قرارگیری دستگاه در عمق مناسب، درصد غده‌های شکسته شده بالا رفته است. قابل ذکر است که متوسط عمق کار تیغه‌ها بر اساس آزمایش‌ها اولیه ۱۶ سانتی‌متر انتخاب گردید اما با افزایش مقاومت کششی دستگاه در حالت‌های خاص شاهد کاهش تمایل دستگاه به نفوذ به خاک بودیم که نتیجه آن کاهش عمق کار دستگاه و بیرون نیاوردن تعدادی از غده‌ها بود.

۴. انتخاب زاویه حمله و فرکانس مناسب

برای انتخاب مناسب‌ترین زاویه حمله و فرکانس، معیارهای دو دیدگاه مورد توجه می‌باشد: الف) صدمات مکانیکی وارده بر ریشه‌ها و ب) توان کششی مورد نیاز تراکتور. از دید صدمات مکانیکی وارده بر ریشه‌ها تمایل بر آن است تا ترکیبی انتخاب شود که کمترین صدمات، از نظر شکستگی و کمترین غده باقی‌مانده در خاک را داشته باشیم. از این دیدگاه، ترکیب‌هایی که در جدول ۲ در هر دو ستون غده‌های شکسته و غده‌های باقی‌مانده کمترین مقادیر را دارند، مناسب‌ترین می‌باشند. بنابراین ترکیب‌های ۶ و ۱۰ از این دیدگاه مورد توجه قرار می‌گیرند. از دید توان کششی مورد نیاز تراکتور تمایل بر آن است تا ترکیبی انتخاب شود که در آن، حداقل توان کششی توسط دستگاه مصرف شود. توان کششی مصرفی تراکتور از حاصل ضرب مقاومت کششی دستگاه در سرعت تراکتور در حین کار به دست می‌آید. از آنجا که سرعت تراکتور در تمامی آزمایش‌های انجام شده، مقدار ثابتی بود، بنابراین توان کششی مورد نیاز تراکتور، رابطه‌ای خطی و مستقیم با مقاومت کششی دستگاه داشت. با توجه به جدول۲، ترکیب ۵ کمترین مقدار مقاومت کششی را نشان می‌دهد. بنابراین از این دیدگاه، مناسب‌ترین ترکیب می‌باشد. اما همانطور که قبلا اشاره شد علت اصلی کم بودن مقاومت کششی در این حالت ناشی از

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.18.3]

عدم نفوذ کافی دستگاه بوده است که نتیجه آن باقی‌ماندن حدود ۵۰ درصد غده‌های چغندر در خاک می‌باشد. بنابراین شاید انتخاب زاویه حمله و فرکانس مناسب با توجه به هر یک از دو دیدگاه نامبرده به طور مجزا، چندان منطقی نباشد. چرا که در هیچ یک از دو دیدگاه، شرایط دیدگاه دیگر در نظر گرفته نشده است و به مسأله به صورت تک بعدی نگریسته شده است. از این رو معیاری معرفی شد تا در انتخاب ترکیب مناسب زاویه حمله تیغه و فرکانس ارتعاش، هر دو دیدگاه را مدنظر داشته باشد. این معیار به صورت یک نسبت K بیان شد که برابر است با:

$$K=\frac{\text{مقاومت کششی چغندرکن}}{\text{درصد چغندرهای در آورده شده}} \qquad [۲]$$

درصد چغندرهای درآورده شده، از تفاضل درصد چغندرهای باقی‌مانده در خاک از عدد ۱۰۰ محاسبه گردید.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نسبت K تحت تأثیر زاویه حمله تیغه و فرکانس ارتعاش چغندرکن و برهمکنش آنها قرار گرفت. جدول ۲ مقایسه میانگین‌های مقاومت کششی، لغزش چرخ، درصد چغندرهای شکسته شده و باقی‌مانده در خاک و نسبت K را تحت تأثیر برهمکنش زاویه حمله تیغه و فرکانس ارتعاش نشان می‌دهد. مقادیر میانگین K در حالت ارتعاشی به جز در ترکیب ۲، اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. و این بدان معناست که مقاومت کششی دستگاه چغندرکن به ازای درصد غده‌های درآورده شده در حالت ارتعاشی یکسان بوده است. بنابراین از آنجا که هدف نهایی، برداشت محصول با حداقل آسیب‌های مکانیکی باشد، بحث توان کششی مورد نیاز تراکتور تحت الشعاع قرار می‌گیرد. به منظور تعیین ترکیبی که مناسب‌ترین کیفیت برداشت و عملکرد دستگاه را داشته باشد، ترکیب‌هایی که کمترین درصد چغندرهای صدمه دیده و باقی‌مانده در خاک را داشتند مورد توجه قرار گرفتند. ترکیب ۶ کمترین درصد چغندرهای شکسته شده و باقی‌مانده در خاک را نشان می‌دهد. اما احتمالاً به علت درآوردن چغندرها انرژی بیشتری صرف شده است و همین امر سبب بالا رفتن مقاومت کششی و لغزش چرخ‌ها در این ترکیب گردیده است که با توجه به نزدیکی میزان لغزش چرخ‌ها (۱۶/۷ درصد) با محدوده قابل قبول (۱۰ تا ۱۵) درصد (۱) مناسب‌ترین گزینه می‌باشد که احتمالا با افزایش وزن استاتیکی تراکتور این نقیصه نیز بر طرف خواهد شد.

نتیجه‌گیری

نتایجی که در طی این تحقیق به دست آمدند عبارت‌اند از:

۱. تغییرات مقاومت کششی دستگاه و لغزش چرخ‌های محرک تراکتور با تغییر فرکانس ارتعاش و زاویه حمله تیغه، مشابه بود و لغزش چرخ‌های محرک رابطه‌ای مستقیم با مقاومت کششی دستگاه داشت.
۲. با افزایش فرکانس ارتعاش، درصد شکستگی غده‌ها افزایش و درصد غده‌های باقی‌مانده در خاک کاهش یافت.
۳. با افزایش زاویه حمله تیغه، درصد شکستگی غده‌ها کاهش یافت.
۴. چغندرکن سه ردیفه ارتعاشی با زاویه حمله تیغه ۲۴ درجه و فرکانس ارتعاش ۹ هرتز، مناسب‌ترین عملکرد را داشت.

سپاسگزاری

نویسندگان از تمامی عزیزانی که در طول این تحقیق آنها را مشاوره و یاری فرمودند بخصوص استاد ارجمند جناب آقای دکتر عبدالمجید رضایی، پرسنل محترم مزرعه دانشگاه صنعتی اصفهان و پرسنل محترم کارخانه قند اصفهان تشکر و قدردانی می‌نمایند. ضمناً از دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان که هزینه‌های این تحقیق را تقبل فرمودند، سپاسگزارند.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.18.3]

منابع مورد استفاده

۱. کپنر، آر. ا.، ر. بینر و ای. ال. بارگر. ۱۳۷۱. *اصول ماشین‌های کشاورزی* (ترجمه: شفیعی، س. ا.). جلد اول، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، تهران.

۲. کوک، دی. ا. و آر. کی. اسکات. ۱۳۷۵. *زراعت چغندرقند*. (ترجمه کوچکی، عوض و همکاران). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.

۳. کوک، دی. ا. و آر. کی. اسکات. ۱۳۷۷. *چغندرقند از علم تا عمل* (ترجمه : اعضای هیئت علمی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند) نشر علوم کشاورزی، تهران.

۴. همت، ع. و ا. تاکی. ۱۳۸۰. بررسی آسیب‌های مکانیکی پنج نوع ماشین سیب زمینی کن در منطقه فریدن اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۵(۲): ۱۹۵-۲۰۹.

۵. همت، ع.، ح. ر. صادق نژاد و ر. علیمردانی. ۱۳۷۹. مقاومت کششی زیرشکن ارتعاشی در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش و اثر آن بر خواص فیزیکی خاک. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۱ (۱): ۱۲۷-۱۴۴.

6. Boyd, R. J. and C. L. Nalezny. 1967. A model of vibrating soil cutting. ASAE Paper No. 670750.
7. Godwin, R. J. and G. Spoor. 1977. Soil failure with narrow tines. J. Agric. Eng. Res. 22: 213-228.
8. Kang, W. S., L. A. Rodriguez and L. D. Crow. 2001. Developing a small commercial vibrating potato digger II. Effects of design parameters on draft, torque and power. Trans. ASAE. 44(6): 1391-1396.
9. Masumi Kolahloo, A. A. and M. Loghavi. 1994. Evaluation and comparison of traction performance of two common tractors in Iran. Iran Agric. Res. 13: 77-95.
10. Narayanarao, P.V. and S. R. Verma. 1982. Performance of a tractor-mounted oscillating soil working tool. AMA 13: 11-13, 33.
11. SAS 2001. SAS Users' Guide: Statistics. Version 8.2 Statistical Analysis System Inc., Raleigh, NC.
12. Sakai, K., S. I. Hata, M. Takaj and S. Nambu. 1993. Design parameters of four shank vibrating subsoiler. Trans. ASAE. 36(1): 23-26.
13. Spoor, G. 1969. Design of soil engaging implements - practice. Farm Machine Design Eng. 3: 14- 19.
14. Szbo, B., F. Barnes, S. Sture and H. Y. Ko. 1998. Effectiveness of vibrating bulldozer and plow blades on draft force reduction. Trans. ASAE. 41(2): 283-290.
15. Tanner, D. W. 1960. Further work on the relationship between rake and the performance of simple cultivation tools. J. Agric. Eng. Res. 5: 307-315.
16. Tong, J. and B. Z. Moayad. 2005. Effects of rake angle of chisel plough on soil cutting factors and power requirements. Soil & Tillage Res. 88(1): 55-64.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.18.3]