Design and Construction of a Disc Harrow Carrier Chassis in a Soil Bin and Measuring Its Draft Force

H. Shaebani Shesh poli[1], M. Askari[1*], D. Kalantari[1]

1- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.askari@sanru.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2025.92582.1372

Introduction

One of the most important parts of agricultural operations is tillage, which accounts for about 60% of the total energy consumed. Therefore, reducing tillage energy demand by lowering the number of passes through the development of cost-effective machinery is highly essential in modern farming. One of the main implements that helps farmers achieve this is the disc harrow. As the most important secondary tillage tool, the disc harrow improves soil structure, breaks up clods, and increases the penetration of water and air into the soil. However, its optimal performance is influenced by parameters such as disc diameter, disc edge type (toothed or plain), disc gang angle, and tractor forward speed. Soil bins, as controlled environments for testing tillage tools, serve as an ideal alternative to agricultural lands. They allow accurate simulation of field conditions while minimizing the effects of climate change and variable soil properties.

Materials and Methods

The present study was conducted with the aim of designing, constructing, and evaluating a disc harrow carrier chassis in the controlled environment of a laboratory soil bin. First, the design phase was carried out using SolidWorks 2020 software, followed by an analysis of the design performance under maximum load using the von Mises method. The next step was the construction of the design. After construction, the evaluation phase was performed by examining the effects of four independent input variables: forward speed (6.43 and 13.15 m min^{-1}), soil moisture content (2.37 and 13.25 percent on a wet basis), disc edge type (plain or toothed), and disc gang angle (0, 15, and 30 degrees), on the dependent output variable, draft force. Each test was replicated three times, resulting in a total of 72 tests.

Results and Discussion

The results showed that the engineered chassis exhibited sufficient strength during the initial evaluation tests, with all components performing well. The findings indicated that increasing forward speed and disc gang angle led to higher draft force, while higher soil moisture levels reduced draft force. Under low moisture conditions, plain discs generated greater draft force; however, this trend reversed as moisture increased. The highest draft requirement (3.588 N) was observed for plain discs at 2.37% moisture, while the lowest (1.724 N) occurred at 13.25% moisture. At a forward speed of 6.43 m min^{-1}, plain and toothed discs required equal draft, but at 13.15 m min^{-1}, the toothed discs required substantially more draft.

Conclusion

The experiments showed that there was no significant difference in draft force between disc gang angles of 0 and 15 degrees. However, increasing the angle from 15 to 30 degrees caused a significant rise in draft force. This indicates that the initial increase in gang angle has a smaller effect, but beyond 15 degrees the impact becomes more pronounced. Therefore, selecting an appropriate disc gang angle can help reduce fuel consumption and improve the productivity of agricultural machinery. Both increasing disc gang angle and forward speed raise draft force because soil resistance to disc movement increases. At higher speeds, the disc must exert more force to cut and move the soil, leading to higher energy consumption and greater equipment wear. Conversely, at lower speeds, draft force decreases, but tillage efficiency may be reduced and plowing uniformity may be affected.

Keywords: Disc, Draft force, Soil bin, Soil-blade interaction, Tillage operation

طراحی و ساخت شاسی حامل هرس بشقابی در محیط انباره خاک و اندازه‌گیری نیروی کششی آن

حسین شعبانی شش پلی[۱]، محمد عسکری[۱*]، داود کلانتری[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶

چکیده

پژوهش حاضر با هدف طراحی و ساخت شاسی حامل هرس بشقابی در محیط انباره خاک آزمایشگاهی، اجرا شده است. پس از طراحی و ساخت، نیروی کششی مورد نیاز یک گروه ۴ بشقابه هرس بشقابی تحت اثر چهار متغیر مستقل در ورودی شامل سرعت پیشروی در دو سطح (۶/۴۳ و ۱۳/۱۵ متر بر دقیقه)، رطوبت خاک در دو سطح (۲/۳۷ و ۱۳/۲۵ درصد بر مبنای وزن‌تر)، نوع لبه بشقاب در دو سطح (ساده و کنگره‌دار) و زاویه قرارگیری گروه بشقاب در سه سطح (۰، ۱۵ و ۳۰ درجه) اندازه‌گیری شد. نتایج ارزیابی اولیه نشان داد که شاسی طراحی‌شده از استحکام کافی در آزمون‌ها برخوردار بود. اثر رطوبت خاک، سرعت پیشروی، زاویه گروه بشقاب و اثر متقابل رطوبت در بشقاب همچنین بشقاب در سرعت بر نیروی کششی معنی‌دار بودند. افزایش سرعت پیشروی و زاویه گروه بشقاب موجب افزایش نیروی کششی اما افزایش رطوبت خاک موجب کاهش آن شد. در رطوبت ۲/۳۷ درصد، بشقاب‌های لبه صاف نیروی کشش بیشتری ایجاد کردند، اما در رطوبت ۱۳/۲۵ درصد این تفاوت معکوس شد. بیشترین (۳/۵۸۸ نیوتن) و کمترین (۱/۷۲۴ نیوتن) نیروی کششی مربوط به بشقاب لبه صاف به‌ترتیب در رطوبت ۲/۳۷ و ۱۳/۲۵ درصد بود. در سرعت ۶/۴۳ متر بر دقیقه، بشقاب ساده و کنگره‌دار، نیروی کششی تقریباً یکسانی نیاز داشتند اما در سرعت پیشروی ۱۳/۱۵ متر بر دقیقه، بشقاب لبه‌کنگره‌دار به نیروی کششی بسیار بیشتری نیاز داشت. این نتایج نشان می‌دهند که تنظیم بهینه سرعت پیشروی، نوع لبه و زاویه گروه بشقاب با توجه به شرایط رطوبتی خاک می‌تواند عملکرد را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: برهمکنش خاک و تیغه، بشقاب، عملیات خاکورزی، مخزن خاک، نیروی کششی

مقدمه

یکی از بخش‌های مهم در کشاورزی، عملیات خاک‌ورزی می‌باشد که سهم بالایی (در حدود ۶۰ درصد) در انرژی مصرفی تولید محصول دارد (Askari, Shahgholi, & Abbaspour-Gilandeh, 2017). امروزه به‌منظور افزایش بهره‌وری عملیات خاک‌ورزی، استفاده از خاک‌ورزهای مرکب فراگیر شده است. این نوع خاک‌ورزها عموماً از چند قسمت مانند تیغه قلمی برای خاک‌ورزی اولیه در بخش جلو و هرس بشقابی و یا غلتک برای خاک‌ورزی ثانویه در بخش عقب تشکیل شده‌اند. از طرف دیگر، هرس بشقابی به عنوان پرکاربردترین ابزار خاک‌ورزی ثانویه، برای تهیه بستر بذر زمین‌هایی که در پاییز یا بهار شخم خورده‌اند و برای پوشاندن روی بذرهایی که به‌صورت دستپاش کشت می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از هرس بشقابی بعد از عملیات شخم، باعث خردشدن کلوخه‌ها، بسته شدن محفظه‌های هوا، مخلوط شدن بقایای گیاهی با خاک و محکم کردن خاک زیر بشقاب‌ها می‌شود تا بستر بذر یکنواخت و صافی به‌وجود آورد (Zhang, 2016). با توجه به موارد استفاده متعدد هرس بشقابی، در مجموع این وسیله پس از گاوآهن برگردان‌دار، مهمترین ماشین خاک‌ورزی محسوب می‌شود (Mansouri Rad, 2013).

متاسفانه زارعین حین استفاده از هرس بشقابی باتوجه به دامنه‌ی کاری بالا و پرکاربرد بودن در خاک‌ورزی انواع کشت‌ها و دارا بودن متغیرهای مهم فراوان بدون داشتن آگاهی درست از کارکرد آن، موجب هدررفت فراوان انرژی و بازدهی پایین خاک‌ورزی می‌شوند (Zeng, Chen, & Zhang, 2017).

از طرف دیگر، روش‌های نوین خاک‌ورزی به دنبال کاهش تعداد دفعات خاک‌ورزی به همراه کاهش عبور و مرور درون مزرعه و در نتیجه کاهش انرژی مصرفی می‌باشند که این امر از طریق انجام پژوهش‌های علمی و شبیه‌سازی خاک‌ورزی درون مزرعه در محیط‌های آزمایشگاهی از قبیل انباره خاک و تحت شرایط کنترل‌شده صورت می‌پذیرد (Torotwa, Ding, Alele, & He, 2022). از این‌رو

۱- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: m.askari@sanru.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jam.2025.92582.1372

در پژوهش حاضر، شاسی حامل هرس بشقابی بر روی انباره خاک موجود در کارگاه گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، طراحی و ساخته شد. همچنین اندازه‌گیری نیروی کششی مورد نیاز هرس بشقابی به‌عنوان ارزیابی اولیه شاسی جدید در سرعت‌های متفاوت پیشروی، رطوبت‌های خاک متفاوت، بشقاب‌های متفاوت و زوایای متفاوت گروه بشقاب انجام شد.

انبارهٔ خاک موجود در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برای شاخه‌های خاک‌ورز ثلبت مانند زیرشکن و گاوآهن برگرداندار طراحی شده بود. اطلاعات به‌دست‌آمده از تحقیقات گذشته نشان داد که هرس بشقابی اغلب در مزارع کشاورزی مورد آزمون قرار گرفته و ارزیابی آن در انباره خاک اندک است. در نتیجه در این تحقیق، هرس بشقابی بر روی یک شاسی طراحی‌شده نصب شد به‌طوری‌که شاسی جدید به حامل انباره خاک متصل شد. سپس نیروی کششی مورد نیاز به‌عنوان متغیر خروجی با توجه به تغییرات متغیرهای ورودی شامل رطوبت خاک، نوع بشقاب‌ها (لبه کنگره‌دار و لبه صاف)، زاویه گروه بشقاب و سرعت پیشروی مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین منظور، از چهار بشقاب در غلطب یک گروه بشقاب با ایجاد تغییرات در شاسی دستگاه خاک‌ورز و حامل (Carrier) مخزن خاک در انبارهٔ خاک مذکور در محیط آزمایشگاهی و مسقف استفاده شد. چالش اصلی در ارزیابی شاسی جدید این بود که آیا می‌توان شرایط اولیه خاک (قبل از تکرار اول تیمار اول) درون مخزن خاک را به گونه‌ای در آزمایش‌ها ثابت نگه داشت که شرایط آزمون در تمامی تیمارها یکسان باشد و به عبارت دیگر داده‌های به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر در شرایط یکسان به‌دست آمده باشند. اگر ثابت ماندن شرایط خاک درون مخزن در تکرارها و تیمارهای مختلف ایجاد گردد، آن‌گاه متغیرهای ورودی مدنظر اعم از رطوبت خاک، نوع لبه بشقاب شامل ساده و کنگره‌دار و ترکیبات متفاوت آن‌ها، زاویه قرارگیری گروه بشقاب‌ها، عمق کاری و سرعت پیشروی، نوع پوشش سطح (خاک یا حاوی بقایای گیاهی) و مانند آن قابل‌تغییر خواهند بود. در آن صورت، اثر آن‌ها بر متغیرهای خروجی مانند نیروهای وارده از طرف خاک بر بشقاب‌ها اعم از افقی، عمودی و جانبی به همراه پروفیل به‌هم‌خوردگی خاک، نحوه برش بقایای گیاهی و غیره مورد بررسی قرار می‌گیرد. در زمینه ارزیابی هرس‌های بشقابی در مزرعه تحقیقات زیادی صورت گرفته است. آی کاس و همکاران (Aykas, Cakir, & Gulsoylu, 2004) اثر سرعت پیشروی و زاویه گروه بشقاب در هرس بشقابی بر شرایط خاک را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که افزایش زاویه گروه بشقاب و سرعت پیشروی، نیروی کششی را افزایش داد. اثر زاویه گروه بشقاب بر نیروی کششی، چشمگیرتر بود. بادگاونکار و همکاران (Badegaonkar, Kamble, & Thakare, 2014) به ارزیابی عملکرد هرس بشقابی در انباره خاک توسط بشقاب‌های ساده و لبه کنگره‌دار پرداختند. نتایج نشان داد که اثر سرعت پیشروی و نوع لبه بشقاب‌ها بر توان مصرفی موثر بوده و نیروی افقی در بشقاب لبه کنگره‌دار بیشتر از بشقاب ساده بود. اوپادیای و رحمان (Upadhyay & Raheman, 2018) اثرات سرعت، زاویه گروه بشقاب، عمق خاک‌ورزی و شاخص مخروطی (CI) بر نیروی کششی و توان مورد نیاز هرس بشقابی را مورد مطالعه قرار دادند. زنگ و همکاران (Zeng, Chen, & Qi, 2019) با بررسی برش خاک توسط هرس بشقابی با فاصله کم بین بشقاب‌ها با چیدمان‌های مختلف عنوان کردند که این نوع هرس بشقابی (CDH) یک نوع نسبتاً جدید از ابزارهای خاک‌ورزی حفاظتی است. آزمایش‌ها در انباره خاک با استفاده از یک CDH با واحدهای سه‌بشقابی انجام شد. بشقاب‌ها در دو عمق خاک‌ورزی متفاوت عمل می‌کردند. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله بشقاب‌ها از هم، نسبت سطح برش خاک (نسبت سطح آشفته به کل مساحت شیار) کاهش یافت. در مقابل، راندمان برش خاک (حجم برش خاک به‌ازای واحد مقدار انرژی مصرف‌شده) در عمق خاک‌ورزی کم، ثابت ماند و در عمق خاک‌ورزی زیاد، افزایش یافت. توروتوا و همکاران (Torotwa, Ding, Makange, Liang, & He, 2021) به ارزیابی عملکرد یک هرس بشقابی با طراحی خاص برای خاک‌ورزی حفاظتی کودپاشی‌شده با کاه پرداختند. آزمایش‌ها درون انباره خاک روی ۳ هرس بشقابی در ۳ عمق خاک‌ورزی (۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ میلی‌متر) انجام شد. نتایج نشان داد که هرس بشقابی خاص در مقایسه با هرس بشقابی شیاردار ۲۱/۴ درصد کاهش در مقاومت عمودی و ۲۸/۷ درصد کاهش در نیروهای کششی را حاصل می‌کند ($P<0.05$). باتوجه به منابع در دسترس و در مجموع، مطالعات کمی در خصوص ارزیابی عملکرد هرس بشقابی درون انباره خاک انجام شده است.

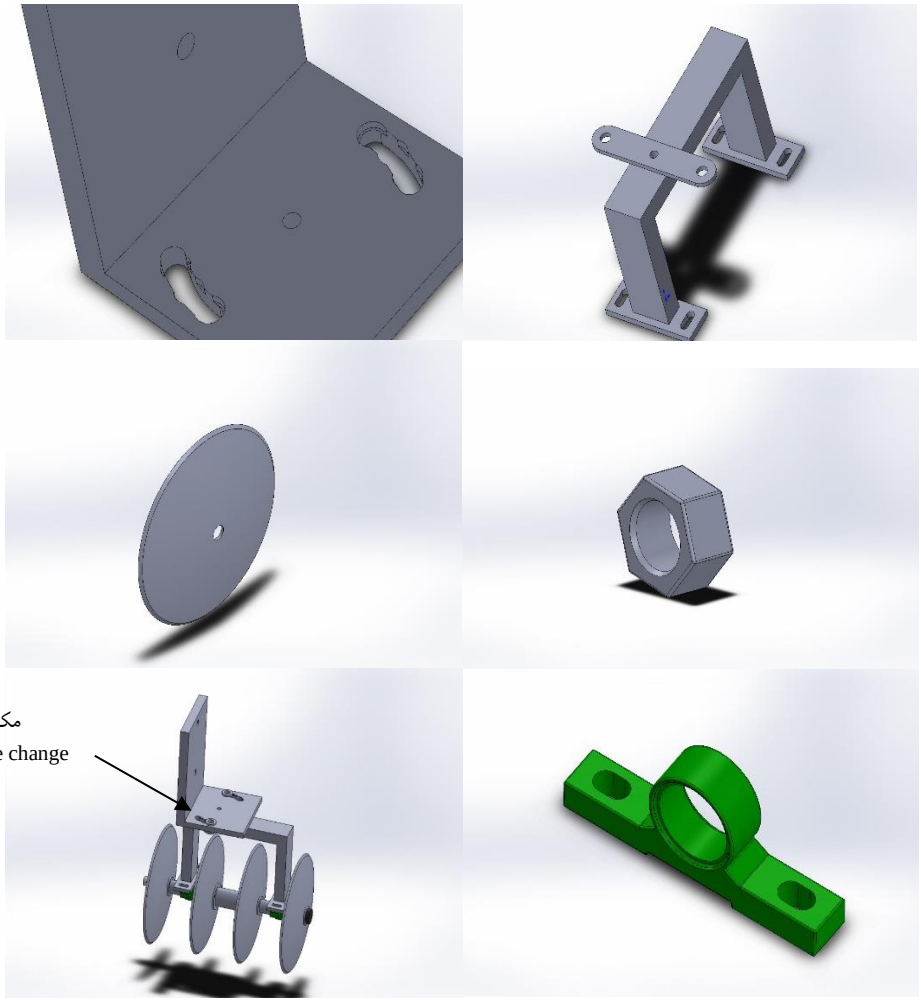
پژوهش حاضر با هدف طراحی و ساخت شاسی حامل هرس بشقابی در محیط انباره خاک آزمایشگاهی، اجرا شده است. پس از طراحی و ساخت شاسی جدید، نیروی کششی مورد نیاز یک گروه چهار بشقابه تحت اثر چهار متغیر مستقل در ورودی شامل سرعت پیشروی در دو سطح (۶/۴۳ و ۱۳/۱۵ متر بر دقیقه)، رطوبت خاک در دو سطح (۲/۳۷ و ۱۳/۲۵ درصد بر مبنای وزن‌تر)، نوع لبه بشقاب در دو سطح (ساده و کنگره‌دار) و زاویه قرارگیری گروه بشقاب در سه سطح (۰، ۱۵ و ۳۰ درجه) اندازه‌گیری شد.

مواد و روش‌ها

طراحی شاسی و ارزیابی استحکام آن در نرم‌افزار

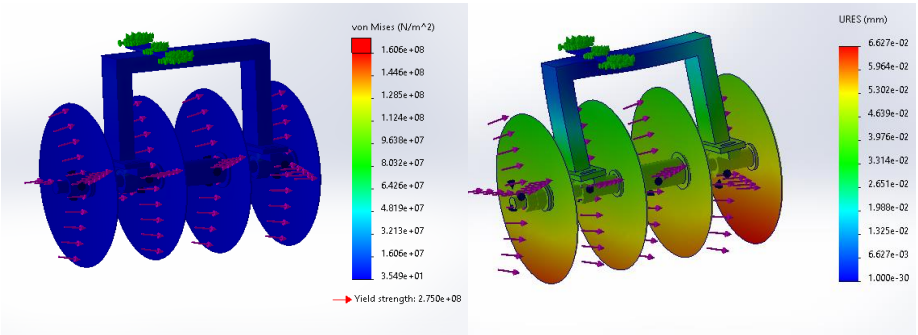
در ابتدا شاسی مورد نظر به همراه بشقاب‌ها، محور بشقاب و سایر اتصالات در نرم‌افزار سالیدورک (Solidworks) نسخه ۲۰۲۰ طراحی شدند. طراحی شاسی به نحوی بود که توانایی تغییر زاویه گروه بشقاب همچنین قابلیت اتصال بشقاب از یک عدد تا چهار عدد را داشته باشد

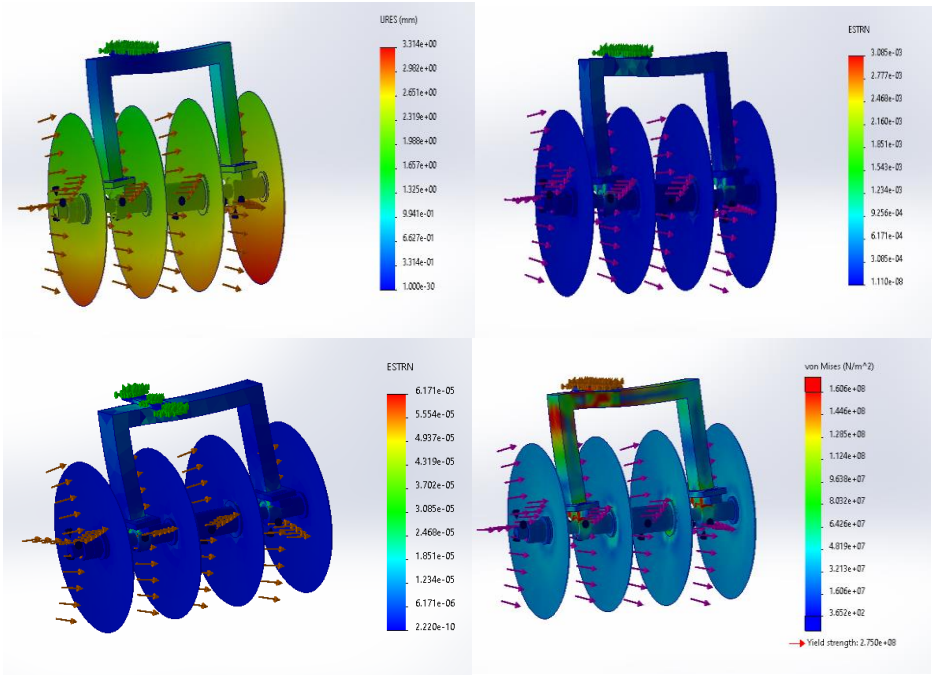
(شکل ۱). به‌منظور ارزیابی شاسی طراحی‌شده در نرم‌افزار، با اعمال بیشینه نیروهای وارده بر حسب معیار وان میسز (Von Mises)، تنش‌ها و کرنش‌های (تغییر شکل ناشی از اعمال تنش) بیشینه و کمینه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با تقویت نقاطی که دارای کرنش زیاد بودند، ضریب اطمینان (FOS) بیش از ۲ برای تمامی اجزا حاصل گردید (شکل ۲). فرضیات بارگذاری بدین صورت بود که نیرو از طرف خاک بر سطح بشقاب‌ها وارد شده و از آن‌جا به شاسی منتقل می‌شود. اندازه نیروی واردشده بر سطح بشقاب‌ها توسط معادلات گوریاچکین (Goryachkin, 1968) استخراج و با توجه به عمق بیشینه خاک‌ورزی و به‌صورت ۲ برابری اعمال شد.



شکل ۱– طراحی شاسی جدید هرس بشقابی، شامل قطعات تشکیل‌دهنده و مونتاژ آن‌ها

Fig. 1. Design of a new chassis for a disc harrow, including the parts and their assembly





شکل ۲– ارزیابی استحکام شاسی طراحی‌شده

Fig. 2. Evaluation of the designed chassis's strength

ساخت و نصب شاسی جدید

بعد از مرحله طراحی در نرم‌افزار، تحلیل نیرویی و حصـــول نتایج اطمینان‌بخش، فرآیند ساخت شاسی جدید و نصب آن بر روی انباره خاک انجام شد.

شکل ۳– نصب شاسی جدید بر روی حامل مخزن خاک جهت اندازه‌گیری نیروی کششی مورد نیاز بشقاب‌های (a) لبه صاف و (b) لبه کنگره‌دار به همراه (c) لودسل اندازه‌گیری نیروی کششی

Fig. 3. Installation of new chassis on the soil bin carrier for measuring the draft requirement of (a) plain and (b) toothed discs, and (c) draft force loadcell

آزمون اولیه

آزمون اولیه در قالب اندازه‌گیری نیروی کشـــشـــی مورد نیاز یک گروه چهار بشـــقابه هرس بشـــقابی تحت اثر پارامترهای ورودی تحت بررســی شـامل نوع بشـقاب در دو سـطح لبه صـاف و لبه کنگره‌دار، سرعت پیشروی در دو سطح ۶/۴۳ و ۱۳/۱۵ متر بر دقیقه، زاویه گروه بشـقاب در سـه سـطح ۰، ۱۵ و ۳۰ درجه و رطوبت خاک در دو سـطح ۲/۳۷ و ۱۳/۲۵ درصـد وزنی بر مبنای وزن تر انجام شـد. بشـقاب‌های لبه‌صاف و لبه‌کنگره‌دار با قطر ۲۵ سانتی‌متر هریک به تعداد ۴ عدد از کارخانه تولید ادوات کشـاورزی هادی واقع در شـهرسـتان جویبار تهیه شدند (شکل۳–A و B). فاصله بین بشقاب‌ها و عمق خاک‌ورزی، ۱۰ ســـانتی‌متر تنظیم شـــدند. آزمایش‌ها در انبارهٔ خاک دارای ابعاد ۶ متر طول و ۱/۶ متر عرض و ۱ متر عمق و بـا ۳ تکرار و مجموعـاً ۷۲ پیمایش اجرا گردید. روش آماری مورد اســـتفاده در آزمون‌ها در قالب طرح بلوک کامل تصـــادفی (RCBD) بوده و تمامی متغیرهای مورد

آزمون و تعداد سطوح هریک در سه تکرار مطابق استاندارد RNAM نسخه ۱۱۱۸ انجام گرفت. نیروی کششی توسط لودسل نصب‌شده در مسیر انتقال قدرت از موتور الکتریکی به حامل انباره خاک اندازه‌گیری شد (شکل۳-C). تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰۲۰ انجام شد. به‌علاوه، برای رسم نمودارها از نرم‌افزار EXCEL نسخه ۲۰۱۹ استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) داده‌ها را برای بررسی اثر متغیرهای مستقل شامل رطوبت خاک، نوع لبه بشقاب، سرعت پیشروی و زاویه گروه بشقاب همچنین اثرات متقابل آن‌ها را بر نیروی کششی موردنیاز نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که اثر رطوبت خاک، سرعت پیشروی، زاویه گروه بشقاب و اثر متقابل رطوبت در بشقاب همچنین بشقاب در سرعت بر نیروی کششی معنی‌دار هستند ($P<0.01$). در بین عوامل اصلی، نوع بشقاب مورد استفاده در پژوهش حاضر تأثیر معنی‌داری بر میزان نیروی کششی موردنیاز نداشت. محققین گزارش نموده‌اند که بشقاب‌های کنگره‌دار به دلیل تولیایی بیشتر در شکستن کلوخه‌ها و نفوذ به لایه‌های سخت خاک، نیروی کشش بالاتری نیاز دارند. در مقابل، بشقاب‌های لبه صاف نیروی کشش کمتری نیاز دارند که در پژوهش حاضر این گونه نبود. در صورت وجود تفاوت معنی‌دار بین بشقاب‌های لبه صاف و لبه کنگره‌دار از نظر نیروی کششی مورد نیاز، نوع بشقاب باید با توجه به شرایط خاک و هدف از عملیات خاک‌ورزی انتخاب شود تا تعادل مناسبی بین نیروی کششی، مصرف انرژی و کیفیت کار ایجاد گردد. در ادامه به مقایسه میانگین اثرات معنی‌دار پرداخته خواهد شد.

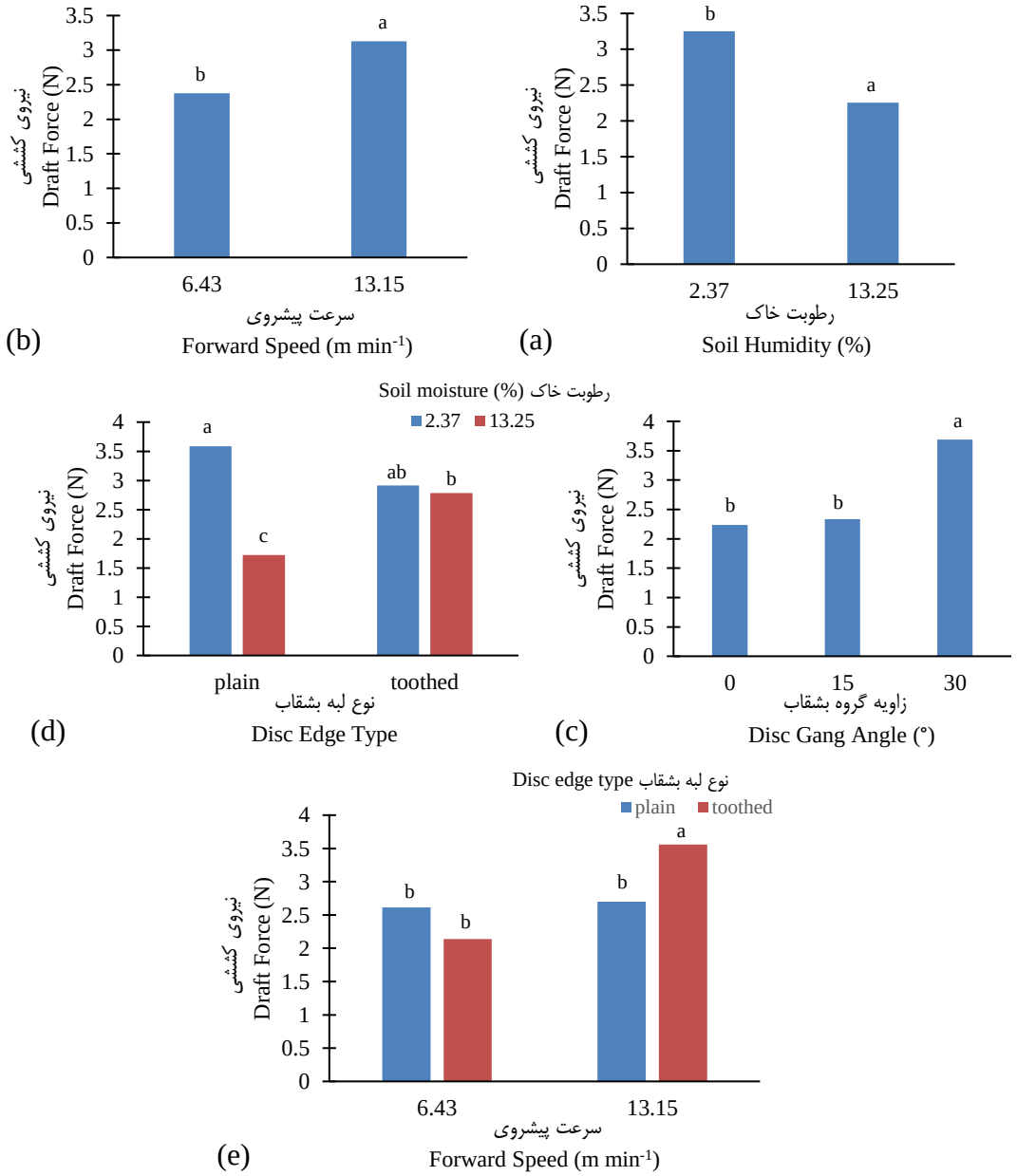
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل مورد بررسی بر نیروی کششی

Table 1- ANOVA results on the effect of studied parameters on draft force

میانگین مربعات Mean of Squares	درجه آزادی Degree of Freedom	منابع تغییرات Source of Variation
17.885^{**}	1	رطوبت خاک (A) Soil Humidity
0.668^{ns}	1	نوع بشقاب (B) Disc type
10.216^{**}	1	سرعت پیشروی (C) Forward Speed
15.790^{**}	2	زاویه گروه بشقاب (D) Disc gang angle
13.543^{**}	1	رطوبت × بشقاب (A × B)
1.152^{ns}	1	رطوبت × سرعت (A × C)
2.096^{ns}	2	رطوبت × زاویه (A × D)
7.981^{**}	1	بشقاب × سرعت (B × C)
1.467^{ns}	2	بشقاب × زاویه (B × D)
0.968^{ns}	2	سرعت × زاویه (C × D)
0.044^{ns}	1	رطوبت × بشقاب × سرعت (A × B × C)
0.815^{ns}	2	رطوبت × بشقاب × زاویه (A × B × D)
0.010^{ns}	2	رطوبت × سرعت × زاویه (A × C × D)
3.472^{ns}	2	بشقاب × سرعت × زاویه (B × C × D)
0.571^{ns}	2	رطوبت × بشقاب × سرعت × زاویه (A × B × C × D)
0.402	48	خطا Error
	71	کل Total
13.22143		C.V

مقایسه میانگین اثرات عوامل معنی‌دار

مقایسه میانگین اثرات عوامل اصلی و متقابل معنی‌دار در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ٤– مقایسه میانگین اثر عوامل معنی‌دار (a) رطوبت خاک، (b) سرعت پیشروی، (c) زاویه گروه بشقاب، (d) اثر متقابل رطوبت خاک در نوع بشقاب و (e) اثر متقابل سرعت پیشروی در نوع بشقاب بر نیروی کششی

Fig. 4. Compare means of the effect of significant parameters of (a) soil moisture, (b) forward speed, (c) disc gang angle, (d) interaction between moisture and disc, and (e) interaction between forward speed and disc on the draft force

نتایج مندرج در شکل۴-A نشان داد که در رطوبت بیشتر خاک (۱۳/۲۵ درصد)، نیروی کششی مورد نیاز هرس بشقابی تحت بررسی به‌طور معنی‌داری کمتر است. تحقیقات قبلی هم نشان دادند که رطوبت خاک یکی از عوامل کلیدی در تعیین مقاومت خاک در برابر ابزارهای خاک‌ورزی است. در خاک‌های با رطوبت بالاتر، نیروی کشش مورد نیاز برای بشقاب‌ها کاهش می‌یابد، زیرا خاک نرم‌تر و چسبنده‌تر می‌شود و برش آن آسان‌تر است. در مقابل، در خاک‌های بسیار خشک یا فشرده، نیروی کشش به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد زیرا خاک سخت‌تر و مقاوم‌تر می‌شود (Manuwa, 2009; Rashidi, Najjarzadeh, Jaberinasab, Emadi, & Fayyazi, 2013). تعامل بین محتوای رطوبت خاک (SMC[1]) و عملیات

1- Soil Moisture Content

خاک‌ورزی به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد کشش و مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد. با افزایش SMC، پارامترهای عملکرد کشش کننده خاک‌ورز مانند گشتاور محور، لغزش و ضریب کشش به‌طور کلی بهبود می‌یابند. با این حال، راندمان کششی در سطوح بالاتر رطوبت کمی کاهش می‌یابد (Kim, Kim, Park, & Kim, 2021). نیروهای کششی با افزایش SMC در سرعت‌های خاک‌ورزی ثابت، با محدوده SMC بهینه ۲/۵ تا ۲۵٪ برای شخم توسط بشقاب در خاک لومی ماسه‌ای کاهش می‌یابد. همچنین، خواص مقاومت خاک با افزایش SMC و سرعت خاکورزی کاهش می‌یابد (Nkakini & Fubara-Manuel, 2014). رابطه بین SMC، ترکیب خاک و مصرف انرژی خاک‌ورزی را می‌توان با استفاده از همبستگی‌های مشتق‌شده ارزیابی کرد (Afify, Kushwaha, & Gerein, 1998; Vilde, 2003).

شکل ۴-B نشان داد که سرعت پیشروی در عملیات خاک‌ورزی تأثیر مستقیمی بر نیروی کششی مورد نیاز بشقاب خاک‌ورز دارد. با افزایش سرعت، نیروی کشش مورد نیاز برای کشیدن بشقاب در خاک به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد، زیرا مقاومت خاک در برابر حرکت بشقاب بیشتر می‌شود. این مقاومت ناشی از عوامل مختلفی مانند چگالی خاک، رطوبت و نوع لبه بشقاب است. در سرعت‌های بالاتر، بشقاب باید نیروی بیشتری برای برش و جابه‌جایی خاک اعمال کند (Abdalla, Mohamed, El Naim, El Shiekh, & Zaied, 2014). از سوی دیگر برخی از محققین گزارش نمودند که افزایش سرعت حرکت ابزار در خاک می‌تواند موجب کاهش نیروی کششی شود؛ زیرا خاک در زمان کمتری برش خورده و جابه‌جا می‌شود. با این حال، اگر سرعت بیش از آن افزایش یابد، ممکن است به دلیل افزایش اصطکاک و نیروی اینرسی، نیروی کششی مجدداً افزایش یابد که در پژوهش حاضر حاصل شد. بنابراین، بهینه‌سازی سرعت ابزارهای خاک‌ورزی برای هم‌زمانی کاهش نیروی کششی و افزایش بازدهی عملیات خاک‌ورزی، امری ضروری است.

شکل ۴-C نشان داد که در آزمون‌ها، تفاوت معنی‌داری در نیروی کششی بین زاویه‌های ۰ و ۱۵ درجه گروه بشقاب مشاهده نشد. با این حال، تغییر زاویه گروه بشقاب از ۱۵ به ۳۰ درجه، افزایش قابل‌توجهی در نیروی کششی ایجاد کرد. این موضوع نشان می‌دهد که افزایش ثانویه زاویه گروه بشقاب تأثیر بیشتری بر افزایش نیروی کششی دارد، اما قبل از رسیدن به ۱۵ درجه، این اثر به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. سایر مطالعات نیز تأثیر قابل‌توجه زاویه گروه بشقاب و سرعت پیشروی را بر عملیات خاک‌ورزی نشان دادند. هان و گیسیبل (Hann & Giessibl, 1998) مشاهده کردند که تنظیم زاویه بهینه گروه بشقاب بین ۳۵ تا ۵۰ درجه نسبت به خط عمود بر مسیر حرکت برای به حداقل رساندن نیروی کششی و توان مورد نیاز الزامی است. عبداله و همکاران (Abdalla *et al.*, 2014) گزارش دادند که کاهش زاویه گروه باعث بهبود نفوذ بشقاب‌ها شد. آمانتایف و همکاران (Amantayev, Gaifullin, Kravchenko, Kushnir, & Nurushev, 2018) تشکیل شیار را توسط انواع مختلف بشقاب بررسی کرده و اشاره نمودند که زاویه گروه بشقاب بر ویژگی‌های شیار تأثیر می‌گذارد. زوبکو و همکاران (Zubko, Sokolik, Khvorost, & Melnyk, 2021) دریافتند که کیفیت خاک‌ورزی تحت تأثیر سرعت پیشروی، عمق کار و زاویه گروه بشقاب است. این یافته‌ها اهمیت پارامترهای بشقاب و سرعت پیشروی را در بهینه‌سازی عملیات خاک‌ورزی و بهبود اختلاط و پودر شدن خاک نشان داد.

شکل ۴-D نشان داد که اثر متقابل بین رطوبت خاک و نوع بشقاب تأثیر قابل‌توجهی بر نیروی کششی دارد. در شرایط رطوبت پایین، بشقاب‌های لبه صاف نسبت به بشقاب‌های لبه کنگره‌دار نیروی کششی بیشتری ایجاد کردند، اما با افزایش رطوبت، این تفاوت معکوس شد. تفاوت نیروی کششی بشقاب لبه صاف و لبه کنگره‌دار در رطوبت ۲/۳۷ درصد، معنی‌دار نیست اما این تفاوت در رطوبت ۱۳/۲۵ درصد بسیار معنی‌دار است. بیشترین (۳/۵۸۸ نیوتن) و کمترین (۱/۷۲۴ نیوتن) نیروی کششی مربوط به بشقاب لبه صاف به‌ترتیب در رطوبت ۲/۳۷ و ۱۳/۲۵ درصد بود. بر اساس نتایج مطالعات گذشته، رطوبت خاک و نوع لبه بشقاب به‌طور متقابل بر میزان نیروی کششی در عملیات خاک‌ورزی تأثیر می‌گذارند. مطالعات دیگر (Manuwa, 2009; Rashidi *et al.*, 2013) تأکید می‌کنند که انتخاب بشقاب مناسب بر اساس رطوبت خاک می‌تواند بهینه‌سازی نیروی کششی موردنیاز، کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت خاک‌ورزی را به همراه داشته باشد. بنابراین، درک تعامل بین رطوبت خاک و نوع بشقاب برای طراحی عملیات خاک‌ورزی کارآمد ضروری است.

شکل ۴-E نشان داد که نیروی کششی موردنیاز بشقاب کنگره‌دار در سرعت پیشروی ۱۳/۱۵ متر بر دقیقه به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر حالات است اما نیروی کششی در بشقاب ساده در هر دو سرعت همچنین بشقاب کنگره‌دار در سرعت ۶/۴۳ متر بر دقیقه تفاوت معنی‌داری نداشتند. این نتیجه نشان می‌دهد که در سرعت ۶/۴۳ متر بر دقیقه، بشقاب ساده و کنگره‌دار، نیروی کششی تقریباً یکسانی نیاز داشتند اما در سرعت پیشروی ۱۳/۱۵ متر بر دقیقه، بهتر است که از بشقاب لبه صاف استفاده کنیم چون بشقاب لبه‌کنگره‌دار به نیروی کششی بسیار بیشتری نیاز خواهد داشت. با این حال، رابطه بین سرعت ابزار و نیروی کشش بسیار پیچیده است. در حالی‌که برخی از مطالعات نشان دادند که افزایش سرعت برش منجر به افزایش مقاومت کششی می‌شود (Liskin, Lobachevsky, Mironov, Sidorov, & Panov, 2018)، برخی دیگر مشاهده کردند که راندن بشقاب‌ها با نسبت سرعت رو به جلو بالاتر می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی نیروی کشش را کاهش دهد (Hann & Giessibl, 1998).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف طراحی و ساخت شاسی حامل هرس بشقابی در محیط انباره خاک آزمایشگاهی، اجرا شده است. پس از طراحی و ساخت شاسی جدید، نیروی کششی مورد نیاز یک گروه چهار بشقابه هرس بشقابی تحت اثر چهار متغیر مستقل در ورودی شامل سرعت پیشروی در دو سطح (۶/۴۳ و ۱۳/۱۵ متر بر دقیقه)، رطوبت خاک در دو سطح (۲/۳۷ و ۱۳/۲۵ درصد بر مبنای وزن‌تر)، نوع لبه بشقاب در دو سطح (ساده و کنگره‌دار) و زاویه قرارگیری گروه بشقاب در سه سطح (۰، ۱۵ و ۳۰ درجه) صورت پذیرفت. نتایج ارزیابی اولیه نشان داد که شاسی طراحی‌شده از استحکام کافی در آزمون‌ها برخوردار بود. در رطوبت بالا، شاهد کاهش نیروی کششی هستیم، زیرا خاک نرم‌تر و چسبنده‌تر بوده و برش آن راحت‌تر انجام می‌شود. اما در رطوبت پایین، شاهد افزایش نیروی کششی خواهیم بود، زیرا خاک سخت‌تر و فشرده‌تر شده و بشقاب برای نفوذ به آن نیاز به نیروی بیشتری دارد. این موضوع نشان می‌دهد که مدیریت رطوبت خاک می‌تواند نقش مهمی در بهینه‌سازی نیروی کششی و کاهش مصرف سوخت داشته باشد.

افزایش سرعت پیشروی موجب افزایش نیروی کششی می‌شود، زیرا مقاومت خاک در برابر حرکت بشقاب بیشتر می‌شود. در سرعت‌های بالاتر، بشقاب باید نیروی بیشتری برای برش و جابه‌جایی خاک اعمال کند که این موضوع موجب افزایش مصرف انرژی و استهلاک تجهیزات می‌شود. از سوی دیگر، در سرعت‌های پایین‌تر، نیروی کششی کاهش می‌یابد اما ممکن است کارایی خاک‌ورز کمتر شده و یکنواختی شخم تحت تأثیر قرار گیرد. بنابراین، یافتن سرعت بهینه، نقش مهمی در بهبود عملکرد کشاورزی و کاهش هزینه‌های عملیاتی دارد.

در آزمایش‌ها مشاهده شد که بین زوایای ۰ و ۱۵ درجه تفاوت معناداری در نیروی کششی وجود ندارد. اما افزایش زاویه از ۱۵ به ۳۰ درجه باعث افزایش چشمگیری در نیروی کششی شد. این نشان می‌دهد که افزایش اولیه زاویه گروه بشقاب تأثیر کمتری بر افزایش نیروی کششی دارد، اما پس از رسیدن به ۱۵ درجه، این تأثیر افزایش می‌یابد. بنابراین، انتخاب زاویه مناسب گروه بشقاب می‌تواند موجب کاهش نیروی کششی مورد نیاز و مصرف سوخت همچنین افزایش بهره‌وری ماشین‌های کشاورزی شود.

در شرایط رطوبت پایین، بشقاب‌های لبه صاف نسبت به بشقاب‌های لبه کنگره‌دار نیروی کششی بیشتری نیاز داشتند، اما با افزایش رطوبت، این تفاوت معکوس شد. بیشترین (۳/۵۸۸ نیوتن) و کمترین (۱/۷۲۴ نیوتن) نیروی کششی مربوط به بشقاب لبه صاف به‌ترتیب در رطوبت ۲/۳۷ و ۱۳/۲۵ درصد بود. این موضوع نشان می‌دهد که اثر متقابل نوع بشقاب و میزان رطوبت خاک به‌طور معنی‌داری بر میزان نیروی کششی تأثیر دارند. در خاک‌های خشک، بشقاب‌هایی که طراحی بهتری برای برش دارند، کارایی بیشتری خواهند داشت، درحالی‌که در خاک‌های مرطوب، نیروی کشش کاهش یافته و تفاوت آن بین دو نوع بشقاب بیشتر می‌شود. این یافته می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا در شرایط مختلف رطوبت خاک، بشقاب مناسب‌تری را انتخاب کنند.

در سرعت ۶/۴۳ متر بر دقیقه، بشقاب ساده و کنگره‌دار، نیروی کششی یکسانی نیاز دارند اما در سرعت پیشروی ۱۳/۱۵ متر بر دقیقه، بهتر است که از بشقاب لبه صاف استفاده کنیم چون بشقاب لبه‌کنگره‌دار به نیروی کششی بسیار بیشتری نیاز خواهد داشت. این نتایج نشان می‌دهند که تنظیم بهینه سرعت پیشروی، نوع لبه و زاویه گروه بشقاب با توجه به شرایط رطوبتی خاک می‌تواند عملکرد عملیات خاک‌ورزی را بهبود بخشد.

مشارکت نویسندگان

حسین شعبانی شش پلی: جمع‌آوری داده‌ها، مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، استخراج و تهیه متن اولیه

محمد عسکری: نظارت و مدیریت، استخراج و تهیه متن اولیه، خدمات نرم‌افزاری، پردازش داده‌ها، اعتبارسنجی و تصویرسازی نتایج

داود کلانتری: ویرایش متن

References

1. Abdalla, O. A., Mohamed, E. A., El Naim, A. M., El Shiekh, M. A., & Zaied, M. B. (2014). Effect of disc and tilt angles of disc plough on tractor performance under clay soil. *Current Research in Agricultural Sciences, 1*(3), 83-94 .
2. Afify, M., Kushwaha, R., & Gerein, M. (1998). Effect of combined disc angles on soil forces of coulter discs. 2001 ASAE Annual Meeting. https://doi.org/10.13031/2013.4041
3. Amantayev, M., Gaifullin, G., Kravchenko, R., Kushnir, V., & Nurushev, S. (2018). Investigation of the furrow formation by the disc tillage tools. *Bulgarian Journal of Agricultural Science, 24*(4), 704-709.
4. Askari, M., Shahgholi, Gh., & Abbaspour-Gilandeh, Y. (2017). The effect of tine, wing, operating depth and speed on the draft requirement of subsoil tillage tines. *Research in Agricultural Engineering, 63*(4), 160-167. https://doi.org/10.17221/4/2016-RAE
5. Aykas, E., Cakir, E., & Gulsoylu, E. (2004). The effect of tillage parameters on the performance of the heavy duty offset disk harrow. *Asian Journal of Plant Sciences, 3*(4), 425-428. https://doi.org/10.3923/ajps.2004.425.428
6. Badegaonkar, U. R., Kamble, A. K., & Thakare, S. H. (2014). Performance evaluation of straw cutting mechanism

under no-till crop residue conditions in the soil bin. *PKV Research Journal*, *38*(1), 47-52.
7. Goryachkin, V. P. (1968). Collocted Works in Three Volumes. 2nd Ed. TT71-50087. Sprinfield VA: Nat. Technical Information Service. U.S. Department of Commerce.
8. Hann, M., & Giessibl, J. (1998). Force measurements on driven discs. *Journal of agricultural engineering research*, *69*(2), 149-157. https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0241
9. Kim, W. S., Kim, Y. J., Park, S. U., & Kim, Y. S. (2021). Influence of soil moisture content on the traction performance of a 78-kW agricultural tractor during plow tillage. *Soil and Tillage Research*, *207*, 104851. https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104851
10. Liskin, I. V., Lobachevsky, Y. P, Mironov, D. A., Sidorov, S., & Panov, A. (2018). Laboratory study results of soil-cutting operating elements. *Agricultural Machinery and Technologies*, *12*(4), 41-47. https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47
11. Mansouri Rad, D. (2013). Tractors and agricultural machinery. 1 st edition. Bou ali sina university. 17 th print.
12. Manuwa, S. (2009). Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. *Soil and Tillage Research*, *103*(2), 399-405. https://doi.org/10.1016/j.still.2008.12.004
13. Nkakini, S., & Fubara-Manuel, I. (2014). Effects of soil moisture and tillage speeds on tractive force of disc ploughing in loamy sand soil. *European International Journal of Science and Technology*, *3*(4), 157-164.
14. Rashidi, M., Najjarzadeh, I., Jaberinasab, B., Emadi, S. M., & Fayyazi, M. (2013). Effect of soil moisture content, tillage depth and operation speed on draft force of moldboard plow. *Middle East Journal of Scientific Research*, *16*(2), 245-249. https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2013.16.02.11675
15. RNAM test codes and procedures for farm machinery. (1995). 468p.
16. Torotwa, I., Ding, Q., Alele, J. O., & He, R. (2022). 3D finite element analysis of the tillage and straw cutting performance of a curved-edged toothed disc. *Engineering Agriculture*, *42*(2), 190-210. https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42n2e20210190/2022
17. Torotwa, I., Ding, Q., Makange, N. R., Liang, L., & He, R. (2021). Performance evaluation of a biomimetically designed disc for dense-straw mulched conservation tillage. *Soil and Tillage Research*, 212105068. https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105068
18. Upadhyay, G., & Raheman, H. (2018). Performance of combined offset disc harrow (front active and rear passive set configuration) in soil bin. *Journal of Terramechanics*, *78*, 27-37. https://doi.org/10.1016/j.jterra.2018.04.002
19. Vilde, A. (2003). Impact of soil moisture and composition on its properties and energy consumption of tillage. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference about Environment. Technologies. Resources.
20. Zeng, Z. W., Chen, Y., & Qi, L. (2019). Soil Cutting by a compact disc harrow having various disc arrangements. *Transactions of the ASABE*, *62*(2): 429-437. https://doi.org/10.13031/trans.13106
21. Zeng, Z. W., Chen, Y., & Zhang, X. (2017). Modelling the interaction of a deep tillage tool with heterogeneous soil. *Computers and Electronics in Agriculture*, *143*, 130-138. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.10.005
22. Zhang, Y. (2016). On the mechanics of disc-soil-planter interaction. A thesis submitted to the college of graduate studies and research in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in the department of mechanical engineering university of saskatchewan saskatoon. 219.
23. Zubko, V., Sokolik, S., Khvorost, T., & Melnyk, V. (2021). Factors affecting quality of tillage with disc harrow. 20th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF262