

الله أكبر
بسم الله الرحمن الرحيم

بسم الله الرحمن الرحيم



✓ ارزیابی عملکرد یک دیسک طراحی شده بیومیمتیک برای خاکورزی حفاظتی مالچ شده با کاه و کُش

Performance evaluation of a biomimetically designed disc for dense-straw mulched
conservation tillage

با سپاس فراوان از دکتر ایمان مهر

علی نیک فرجام

بهمن ماه

۱۴۰۱

فهرست مطالب

مراجع

مقدمه

نتایج

پیشینه پژوهش

روش تحقیق

مقدمه

کشاورزی پربازده و با عملکرد بالا منجر به پوشش متراکم کاه و گلش یا خاکپوش می‌شود. به این امر اصطلاحاً **مالچ پاشی** می‌گویند؛ به این معنا که لایه‌هایی از کاه و برگ یا خاکِ سست، سطح خاک را میپوشاند تا از خاک و ریشه‌های گیاهان در برابر بارش باران، یخبندان، فرسایش و تبخیر محافظت شود. در این راستا ابزارهای درگیر در خاک برای خاکورزی حفاظتی، نیازمند بهبود عملکرد هستند.



نتایج عملکرد بهینه ابزار

به حداقل رساندن تخریب خاک

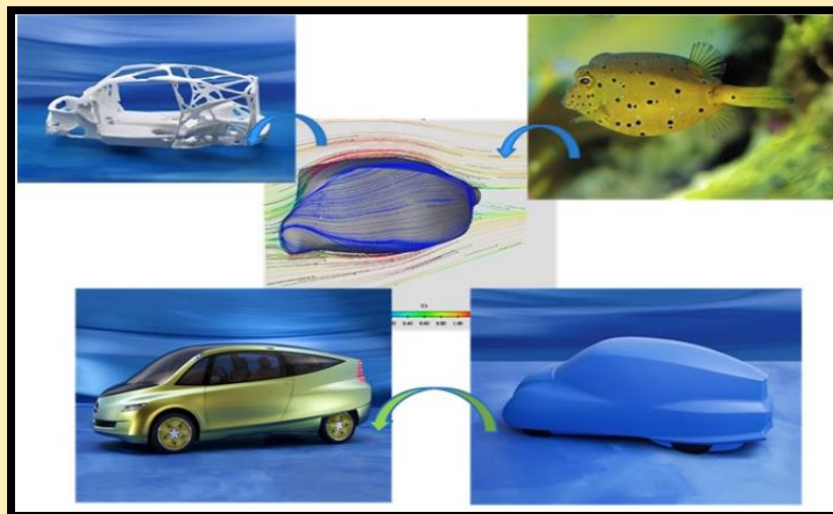
بهبود نفوذ در خاک

برش بهتر کاه و گلش

نیاز به نیروی نفوذ کمتر

علم بیومیمتیک

تحقق اهداف نامبرده که عملکردهایی وابسته و در عین حال متناقض هستند، به آسانی و با ابزارهای سنتی خاکورزی امکان پذیر نخواهد بود. در این راستا طراحی ابزار **بیومیمتیک (زیست تقلید)** می تواند راه حلی را ارائه دهد.



علم طراحی با الهام از طبیعت است؛ یعنی با بهره گیری از ساختارهای زیست شناختی بتوانیم مدل هایی برای حل مشکلات و مسائل فنی خود بسازیم. بیومیمتیک، نانوفناوری یا زیست تقلید شاخه ای از علوم است که به طراحان و مهندسان اجازه می دهد با بررسی الگوهای زیستی و عملکرد فیزیولوژیکی آنها ابزار و دستگاه های جدیدی بسازند که از لحاظ ساختاری و عملکردی بسیار شبیه به مدل های زنده باشد. مشابه بسیاری از سازندگان ربات ها که از بدن انسان و دیگر موجودات زنده الگو گرفته و موفق به ساخت ربات های شگفت انگیزی شده اند.

علم بیومیمتیک

هدف از این پژوهش، بررسی مزایای بالقوه یک دیسک بیومیمتیک با الگوبرداری از ویژگی‌های هندسی پنجه موش کور در ارائه عملکردهای چند منظوره در خاکورزی حفاظتی در خاکهای کاه و گلش دار متراکم است.

در حالی که اکثر مطالعات قبلی به بررسی یک شاخص واحد عملکرد طرح‌های بیومیمتیک پرداخته‌اند که کاهش مقاومت در خاکورزی می‌باشد. ولی این امر نتوانست پاسخگوی نیازهای متنوع کشاورزی حفاظتی باشد. در ادامه پیشینه پژوهش‌های انجام شده در این زمینه ارائه خواهد شد.



پیشینه پژوهش

Authors	Year	Study field
Ahmad et al	2017	تحقق اهداف خاکورزی حفاظتی در کشاورزی متناوب گندم - برنج فشرده، توسط ابزارهای ناکارآمد درگیر در خاک و مدیریت پسماند گیاهی متوقف می‌شود.
Ji et al, Ren, Tong et al	2009 2010	طراحی بیومیمتیک روشی که ویژگی‌ها و قابلیت‌های مورفولوژیکی موجودات زنده را در ایده‌ها و مکانیزم‌های عملی، شبیه‌سازی می‌کند و ثابت شده است که برای بهبود و بهینه‌سازی ادوات درگیر در خاک مؤثر است.
Li et al	2013	طراحی بیومیمتیک کمک ارزشمندی به خاکورزی حفاظتی در سیستم‌های کشاورزی مکانیزه و فشرده ارائه می‌دهد، که نیازمند دستکاری مکرر خاک و فرآوری بقایای گیاهی اضافی است.
Carter	1994	طراحی ابزار بیومیمتیک مناسب برای کشاورزی حفاظتی، مستلزم درک روشنی از ویژگی‌های فنی ابزار و نتایج عملکرد مورد انتظار در شرایط کشاورزی خاص است.
Zhang et al	2015	در کشاورزی متناوب فشرده برنج - گندم که در شرق چین انجام می‌شود، تولید بر اساس یک تقویم سالانه فشرده حفظ می‌شود.
Huo et al, Zhou et al	2014 2020	محدودیت منابع حرارتی سالانه در مناطق کشاورزی - اکولوژیکی، استفاده از ماشین‌آلات سنگین برای آماده‌سازی به موقع بسترهای بذر در شرایط دوره‌های انتقالی کوتاه مدت بین محصولات را ترویج می‌کند. خاکورزی مکرر با ترافیک سنگین در هر دو فصل کشت برنج و دیم با اصول اولیه کشاورزی حفاظتی مغایرت دارد و منجر به تخریب ساختار خاک، شیب کم‌عمق و ایجاد لایه‌های متراکم شخم می‌شود.
Zhang et al	2016	دیسک‌های خاکورزی مرسوم که در خاک‌هایی با مدیریت ضعیف سیستم‌های کشاورزی متمرکز کار می‌کنند، متحمل مقاومت بالایی در خاک با تقاضای انرژی متورم تا ۳۰ الی ۵۰ درصد از کل برق مصرفی می‌شود.
Wang et al	2010	محصولات پر بازده و با عملکرد بالا، بقایای اضافه تولید می‌کنند که بالغ بر ۲۱۱ میلیون تن در فصل برنج و ۱۰۷ میلیون تن در فصل گندم است.
Nalavade et al	2011	پوشش کاه و گلش متراکم در مزارع باعث عملکرد ضعیف دیسک‌های مورد استفاده برای خاکورزی حفاظتی می‌شود. به عنوان مثال گاهها را روی زمین می‌لغزاند یا به سادگی آن‌ها را بدون بریدن به زمین می‌چسباند.
Ahmad et al, Kushwaha et al	1986 2017	بقای گیاهی با فرآوری ضعیف، مانع از عملیات متوالی مزرعه می‌شود، مسیر حرکت ماشین‌آلات را مسدود می‌کند، از قرار دادن و استقرار بذر در حین کاشت جلوگیری می‌کند، موجب کاهش عملکرد محصول و تأخیر در جوانه‌زنی می‌شود.

پیشینه پژوهش

Authors	Year	Study field
Chirende and Li, Ren et al	2001 2009	کشاورزان برای کاهش اثرات منفی، سوزاندن در زمینهای باز را انتخاب می کنند که منجر به از بین رفتن حاصلخیزی خاک و آلودگی محیط زیست می شود. بهبود عملکرد ابزارهای خاکورزی را می توان با معرفی ویژگی های مورفولوژیکی موجودات لانه ساز در خاک که دارای ویژگی های منطبق با ابزار برش خاک هستند، انجام داد. مانند گورکن، موش کور، مورچه خوار پولک دار، سوسک سرگین و جیرجیرک کاوگر یا آبدزدک
Ji et al, Tong et al	2010 2015	ساختار پنجه موش کور به طور خاصی قوی، تیز و مناسب برای دالان یا لانه زدن در خاک است.
Dehghan-Hesar, Li et al	2013 2016	تعدادی از محققان برای بهینه سازی ابزارهای درگیر در خاک طرح های بیومیمتیک الگو گرفته از پنجه های موش کور را مورد بررسی قرار داده اند.
Yang et al	2018	محققان ابزاری را مطالعه و بررسی کردند که از ویژگی های پنجه موش کور الگو گرفته است و ۱۹.۶ درصد شکست کمتری در خاک ایجاد کردند و با حداقل مقاومت خاک کامل شد.
Zhang et al	2018	محققان یک بیل خاکورزی اصلاح شده را با الهام از ساختار پنجه موش مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که مقاومت خاک تا ۳۸ درصد کاهش می یابد.
Jia et al	2019	محققان یک ابزار مدیریت پسماند را مطالعه کردند که ویژگی های پنجه موش کور را شبیه سازی می کرد و عملکرد ابزار را در مقایسه با طرح های رایج ۲۱ درصد بهبود بخشید.
Conte et al, Magalhaes and Bianchini	2007 2011	شرایط کاه و گلش متراکم در سیستم های کشاورزی فشرده گندم - برنج به نتایج عملکردی چندگانه و در عین حال متناقض نیاز دارد. به عنوان مثال نفوذ خوب از طریق لایه های ضخیم بقای محصول با راندمان بالای برش کاه با ایجاد کمترین تخریب و اختلال در لایه های خاک.
Godbol'e and Marley	1997	بنابراین طراحی ابزار مورد استفاده باید با شرایط خاک خشک و غرقابی جایگزین بین فصل های گندم و شالیزاری، کاه و گلش متراکم و دستیابی به نتایج عملکرد چندگانه در راستای کشاورزی حفاظتی منطبق باشد. به عنوان مثال کاهش نیروی مورد نیاز، بهبود نفوذ در خاک، افزایش برش کاه و گلش و به حداقل رساندن تخریب در خاک. درک عملکرد ابزارهای درگیر کننده بیومیمتیک خاک در چنین سناریوهای خاص کشاورزی می تواند منجر به خاکورزی حفاظتی با راندمان یا بازدهی بالا شود.

روش تحقیق

یک دیسک بیومیمتیک با **الگو برداری از پنجه موش کور** ساخته شد و عملکرد آن در مقایسه با دو دیسک مرسوم، یک دیسک ساده و یک دیسک شیاردار ارزیابی شد. طرح کلی دندانهای دیسک بیومیمتیک از تصویر پنجه موش کور با استفاده از نرم افزار اتوکد ۲۰۱۷ ترسیم و با استفاده از مهندسی معکوس، با مقیاس مناسب به دیسکی با ۶ دندان تبدیل شد.

شکل ۱

(a) پنجه‌های انگشت یک موش کور

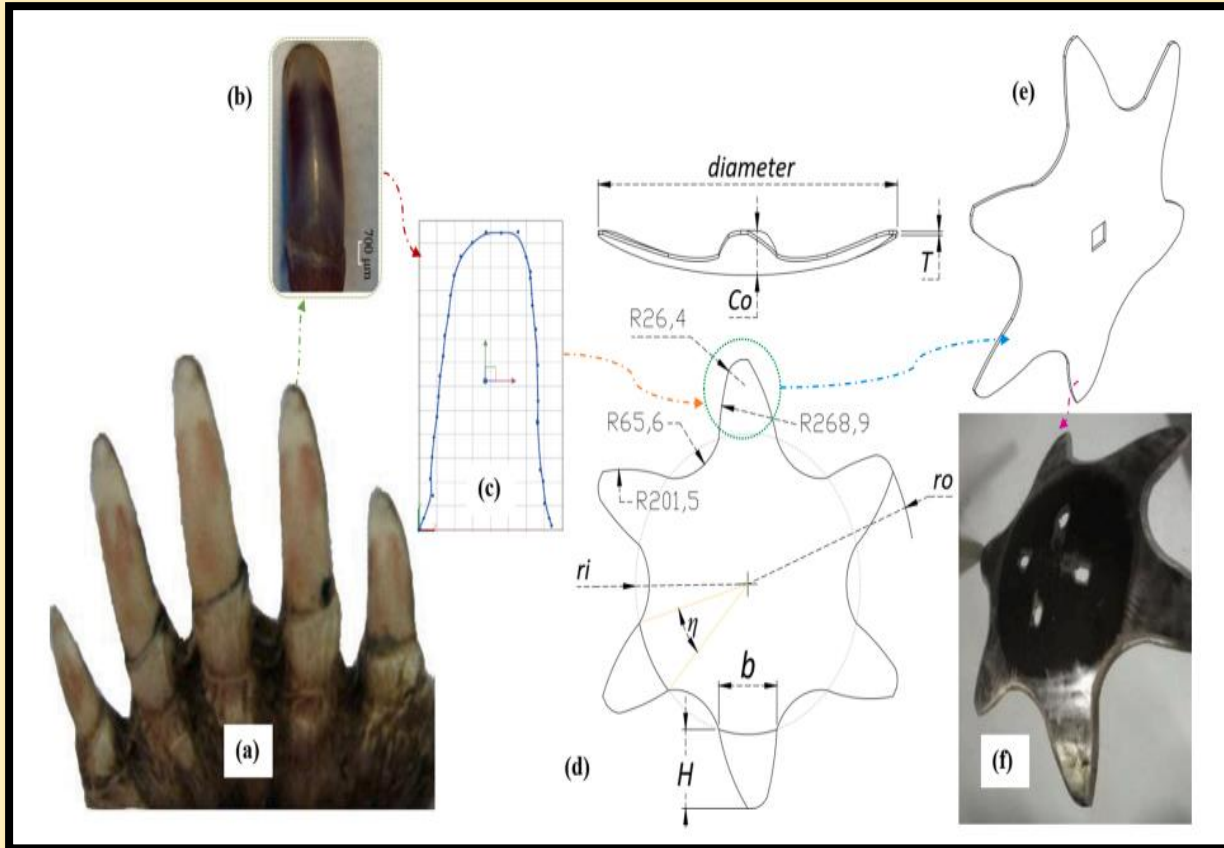
(b) تصویر سر پنجه موش کور

(c) نمودار هندسی دو بعدی ردیابی شده پنجه موش کور در نرم افزار اتوکد

(d) پیکربندی تیغه دیسک بیومیمتیک مهندسی معکوس شده از پنجه موش کور

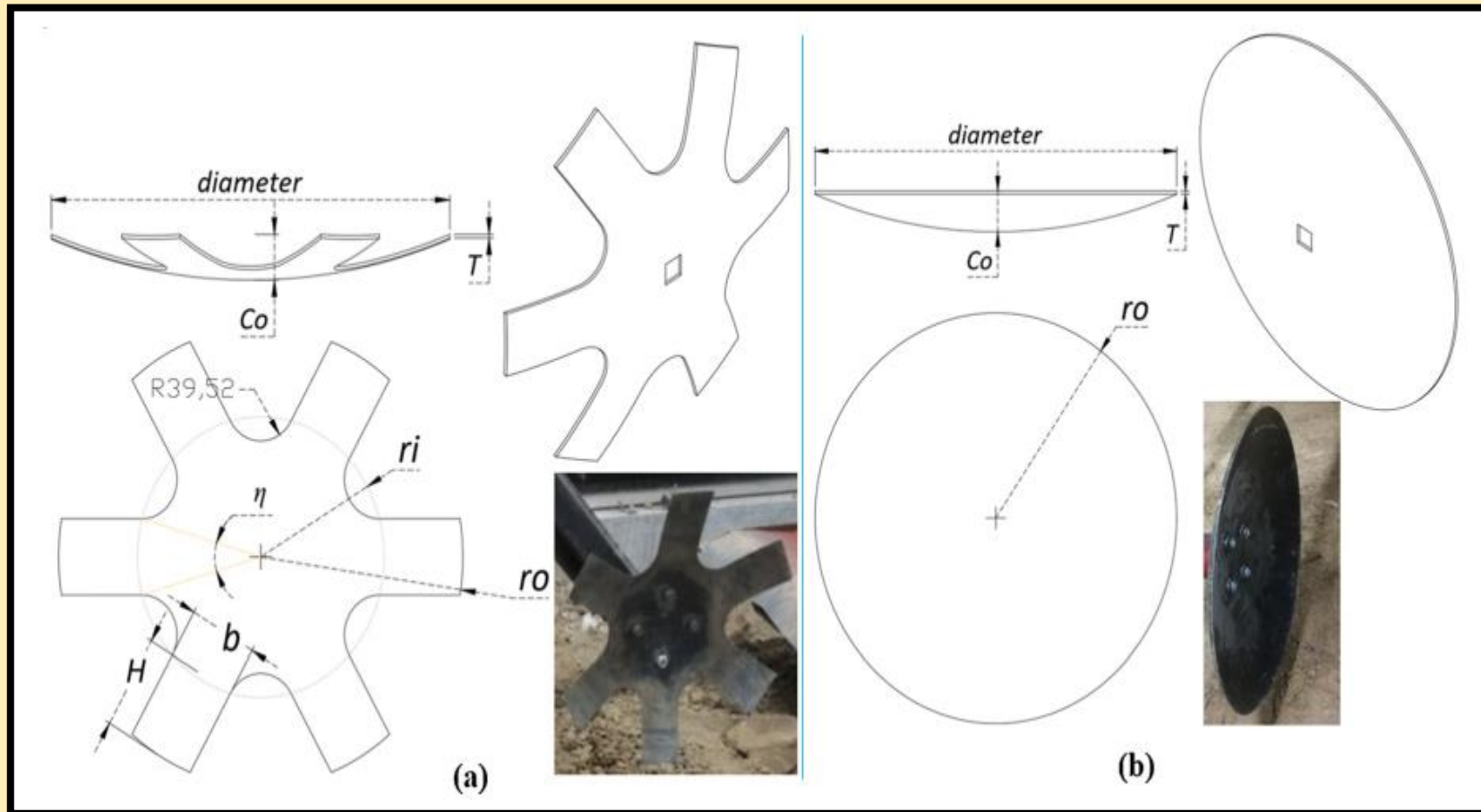
(e) طرح سه بعدی دیسک

(f) دیسک بیومیمتیک ساخته شده



روش تحقیق

پیکربندی طراحی دیسک‌های مرسوم شیاردار و ساده هم در نرم‌افزار اتوکد شبیه‌سازی شد و در شکل ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲

(a) طرح ساختار دیسک شیاردار

(b) تیغه دیسک ساده بدون هیچ تغییری

روش تحقیق

مشخصات دیسک‌های مورد آزمایش در این تحقیق در **جدول ۱** قابل مشاهده است.



دیسک شیار دار



دیسک ساده

مشخصات	Disc Design		
	Plain disc	Notched disc	Biomimetic disc
قطر بیرونی	228.5	228.5	228.5
قطر داخلی	—	139.4	134.5
تقعر	42	42	42
ضخامت دیسک	3.5	3.5	3.5
زاویه بین دندان	—	31.6	29.9
تعداد دندان	—	6	6
ارتفاع دندان	—	85.9	80.4
جرم دیسک	4.8	2.7	2.7
عرض پایه دندان	—	75.9	79.0

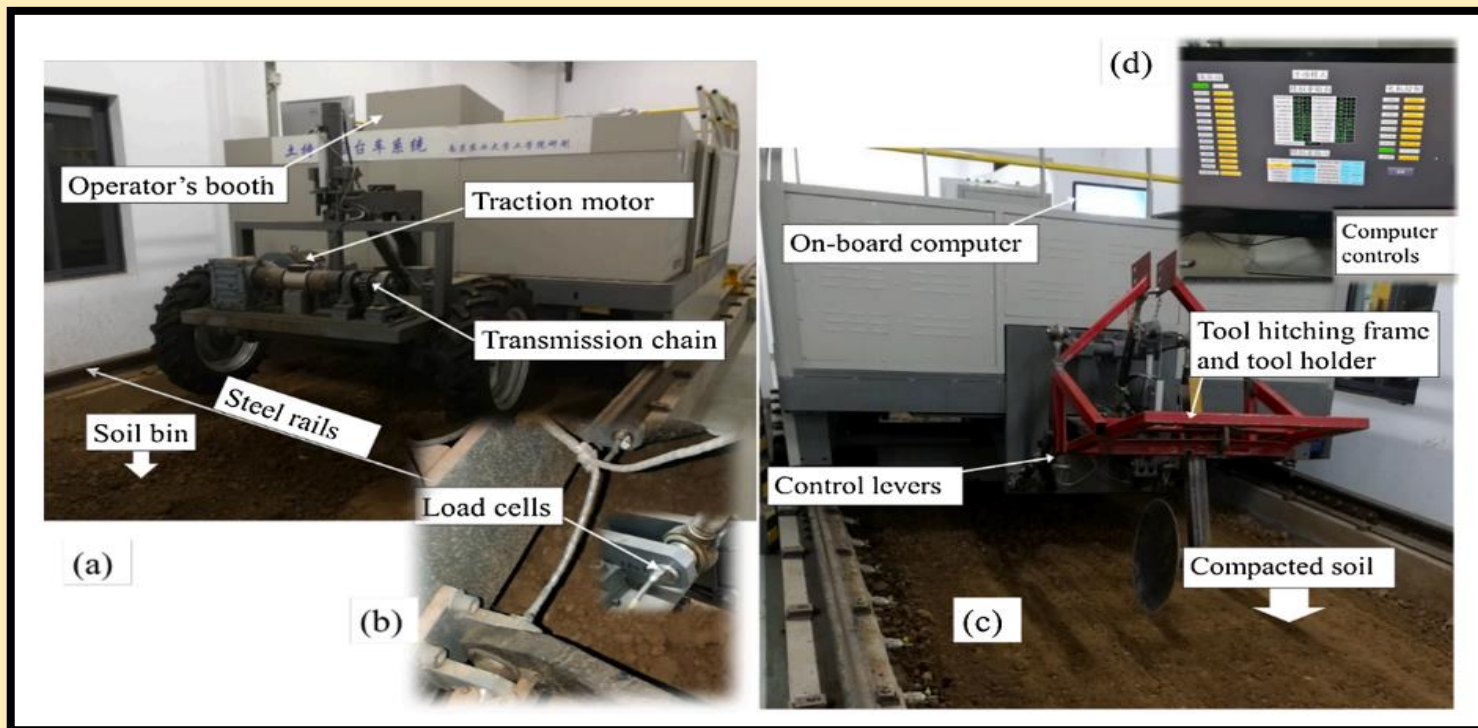


دیسک بیومیمتیک

(f)

راه اندازی آزمایشی

آزمایش‌ها در مخزنی از خاک سرپوشیده گروه کالج مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه مهندسی نانچینگ در دسامبر ۲۰۱۹ انجام شد. طول مخزن خاک ۲۳.۵ متر و عرض آن ۲.۴ متر و عمق آن ۲ متر بود و با خاک لومی پر شد. این آزمایش مجهز به یک گاری حمل برقی متشکل از یک موتور کششی با حداکثر توان ۲۲ کیلووات بود؛ همچنین سیستم داخلی گاری برقی از قلاب‌های دوار، یک تخته تراز و یک غلتک برای آماده‌سازی بستر خاک بود. مکانیزم اتصال شامل یک لودسل برای اندازه‌گیری نیروهای خاکورزی و یک قاب اتصال برای نگهداری دیسک‌های آزمایشی بود، که لودسل از طریق یک کامپیوتر داخل غرفه اپراتور کنترل می‌شد. محل استقرار مخزن خاک در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: راه‌اندازی آزمایشی مخزن خاک

(a) واگن برقی که روی ریل های فولادی روی سطل خاک قرار گرفته است

(b) لودسل‌ها

(c) مکانیزم اتصال و نگهدارنده ابزار

(d) اکتساب داده‌های روی برد

روش آزمایش

آب لوله‌کشی با استفاده از آب‌پاش به خاک اعمال شد و به مدت ۲۴ ساعت اجازه داده شد تا ته‌نشین و قابل اجرا شود. سپس زمین تا عمق ۲۰۰ میلی‌متر به صورت دورانی تراز و متراکم شد. آب بیشتری روی سطح صاف پاشیده شد و به مدت ۴۸ ساعت دیگر دست نخورده باقی ماند تا شرایط خاک یکنواخت شود. خاک دوباره به طور مکرر فشرده شد تا زمانی که یک بستر آزمایشی سفت و یکنواخت به دست آید. هسته‌های استوانه‌ای خاک به قطر و طول ۵۰ میلی‌متر به صورت تصادفی از ۱۵ مکان در زمین آماده جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک قبل و بعد از خشک شدن در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، وزن و برای تعیین چگالی حجمی و رطوبت خاک مورد استفاده قرار گرفت. شاخص مخروط خاک با استفاده از دستگاه نفوذسنج مخروطی دیجیتالی تا عمق ۱۵۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. چسبندگی خاک و زاویه اصطکاک داخلی با استفاده از تجهیزات دستگاه برش مستقیم اندازه‌گیری شد. آنالیز اندازه ذرات برای طبقه‌بندی بافت خاک بر اساس سیستم طبقه‌بندی خاک آمریکا انجام شد. کاه برنج از مزرعه‌ای که اخیراً برداشت شده بود به طول یکنواخت ۰.۳۷ متر بریده شد و میانگین ارتفاع کاه و گلش در ۳۰ مکان تصادفی در مزرعه اندازه‌گیری شد. کاه و گلش به مدت ۴ هفته در هوای آزاد تا رطوبت ۱۰ درصد خشک و بعد از ۷۲ ساعت خشک شدن در آون ۵۵ درجه سانتی‌گراد وزن شد.

روش آزمایش

پوشش کاه و کُش سطح زمین با استفاده از یک قاب مربعی به ابعاد 0.5×0.5 متر که در 30 مکان تصادفی در مزرعه قرار داده شده بود، تعیین شد. برای محاسبه پوشش سطح کاه از میانگین جرم کاه‌های جمع‌آوری شده از مکان‌های انتخابی در واحد سطح استفاده شد، که در معادله ۱ قابل مشاهده است.

$$\text{Straw surface – cover (g m}^{-2}\text{)} = \frac{\text{Average mass of straw (g)}}{\text{Square frame area (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

نیروی برشی کاه و کُش با استفاده از دستگاه حرفه‌ای آنالیز بافت (TMS PRO) ساخت شرکت فناوری غذایی ایالات متحده آمریکا، با نرخ بارگذاری 10 میلی‌متر در دقیقه تعیین شد. مقاومت برشی کاه با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد.

$$\text{Straw shear strength, } \tau \text{ (MPa)} = \frac{\text{Mean shear force, } F_s \text{ (N)}}{2 \times \text{Cross – sectional area of rice stalk, } A \text{ (mm}^2\text{)}} \quad (2)$$

راه اندازی آزمایشی

آزمایش‌هایی برای ارزیابی نیروهای خاکورزی، راندمان برش کاه و میزان تخریب سطح خاک در سه عمق خاکورزی ۷۰،۴۰ و ۱۰۰ میلی‌متر انجام شد. تمامی مراحل آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی سه بار تکرار شد. دیسک‌های آزمایشی به طور محکم روی نگهدارنده ابزار در زاویه شیب صفر درجه و زاویه دیسک صفر درجه نصب شد. موتور کششی بر روی گاری برقی، نیروی محرکه را فراهم کرد و با سرعت ثابت ۱ کیلومتر بر ساعت همه آزمایش‌ها کنترل شد. هر کدام از دیسک‌های آزمایشی برای نیروهای عمودی، کششی در طول ۸ متر در هر یک از سه عمق شخم مورد آزمایش قرار گرفت. از لودسل‌های کالیبره شده برای شناسایی و تشخیص نیروهای واکنش خاک استفاده شد. از نرم‌افزار wincc برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شد. در تعیین بازدهی برش کاه ازمیانگین طول کاه و میزان پوشش سطح برای محاسبه مقدار کاه استفاده شده در واحد طول خاک استفاده شد. در هر آزمایش کاه و کلش وزن شده و به طور یکنواخت روی بخش‌هایی در طول خط حرکت دیسک همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، پخش شد.

راه اندازی آزمایشی

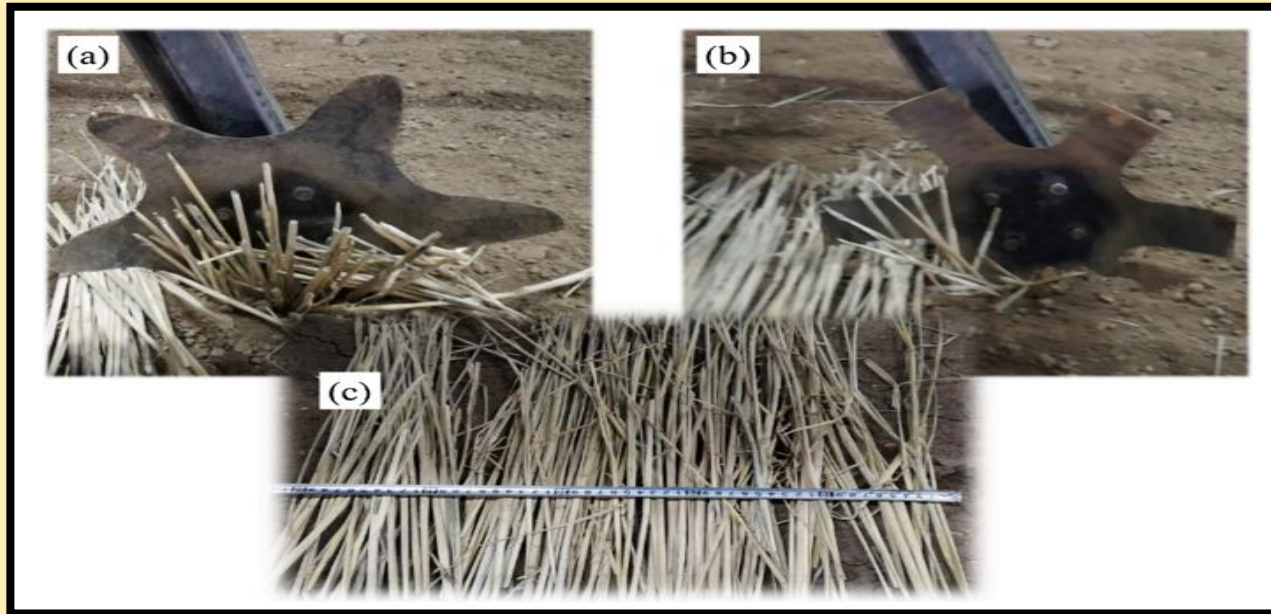
مشخصات خاک و کاه در جدول ۲ خلاصه شده است.

پارامتر
چگالی حجمی خاک
چسبندگی
زاویه اصطکاک داخلی
میزان رطوبت خاک بر پایه خشک
بافت خاک لومی
شاخص مخروط خاک
میزان رطوبت کاه بر پایه خشک
متوسط طول کاه
مقاومت برشی کاه
پوشش سطح کاه

Parameter	Value
Soil bulk density	1398 kg m ⁻³
Cohesion	57.39 kPa
Internal friction angle	9.7°
Soil moisture content	18 % (dry basis)
Soil texture	Loam: (37.56 % sand, 40.24 % silt, and 22.10 % clay)
Soil cone index	944 kPa (0–5 cm); 1217 kPa (5–10 cm) and 1509 kPa (10–15 cm)
Straw moisture content	10 % (dry basis)
Average straw length	0.37 m
Straw shear strength	12.6 MPa
Straw surface cover	450 g m ⁻²

روش آزمایش

شکل ۴:



(a) تصویر دیسک آزمایشی اصلاح شده در حین برش کاه و کُش

(b) برش کاه با دیسک شیاردار

(c) قرار دادن کاه و کُش در مسیر دیسک‌های خاکورزی

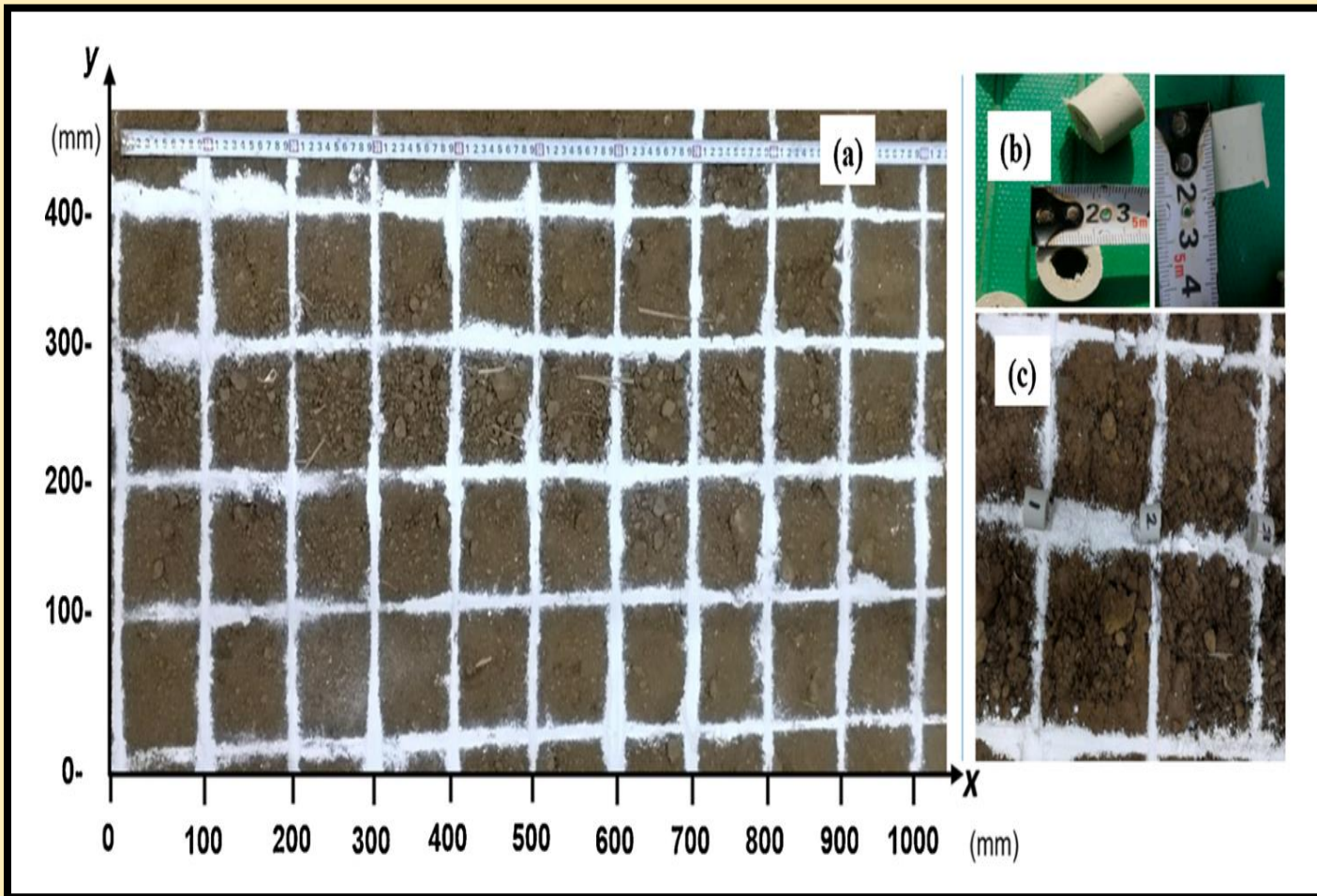
پس از هر آزمایش کاه به دقت جمع‌آوری و ساقه‌های بریده و نبریده از هم جدا و سپس وزن شد. سپس خاک به حالت اولیه خود احیاء شد و آزمایشات جدیدی انجام شد. بازدهی برش کاه با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد.

$$\text{Straw - cutting efficiency (\%)} = \frac{\text{Mass of cut straw (g)}}{\text{Initial mass of straw applied (g)}} \times 100\% \quad (3)$$

روش آزمایش

شکل ۵:

- (a) شبکه متشکل از ۴۰ مربع کوچک هر کدام به مساحت ۱۰۰ میلی‌متر مربع که برای تعیین میزان تخریب خاک استفاده شد.
- (b) ردیاب‌های پلاستیکی برای اندازه‌گیری جابجایی ذرات استفاده می‌شود.
- (c) تراز کردن ردیاب‌ها روی خط مرجع



برای تعیین آشفته‌گی خاک، شبکه‌های مستطیلی به ابعاد 1000×400 میلی‌متر، که هر کدام متشکل از ۴۰ مربع کوچک با مساحت ۱۰۰ میلی‌متر مربع بود، در امتداد مسیر دیسک‌ها با استفاده از پودر گچ سفید کشیده شد.

روش آزمایش

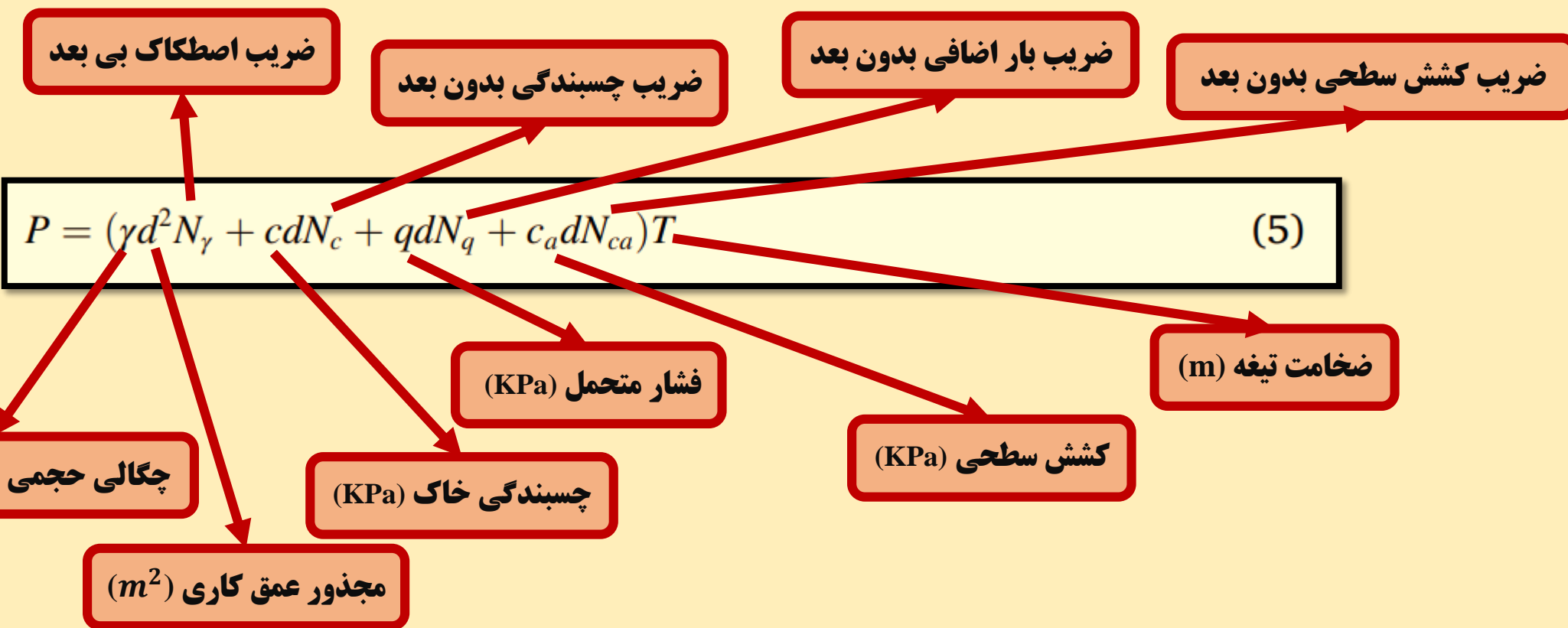
دیسک‌ها از طریق شبکه‌ها به کار گرفته شد و میانگین تعداد مربع‌های منحرف شده به عنوان نرخ اختلال یا تخریب ثبت شد. شاخص تخریب خاک (DI) با تقسیم سطح مقطع تخریب شده بر اعماق کاری مربوطه از طریق معادله ۴ محاسبه شد.

$$\text{Disturbance index, } DI \text{ (mm)} = \frac{\text{Disturbed area (mm}^2\text{)}}{\text{Tillage depth (mm)}} \quad (4)$$

همچنین از استوانه‌های پلاستیکی کوچک به عنوان ردیاب برای نشان دادن جابه‌جایی ذرات خاک استفاده شد. ۱۰ ردیاب به فاصله ۱۰۰ میلی‌متر در امتداد یک خط مرجع روی مسیر حرکت دیسک‌ها قرار داده شد. جابه‌جایی‌های جانبی و محوری ردیاب‌ها با توجه به موقعیت اولیه آن‌ها با استفاده از متر نواری اندازه‌گیری شد. پس از هر آزمایش زمین پاکسازی شد و ردیاب‌ها همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، مرتب شد.

تئوری دیسک‌های دندانه دار

سینماتیک دیسک‌های دندانه‌دار را می‌توان با فرض تئوری ابزارهای باریک ارزیابی کرد. می‌توان گفت شکست خاک و انتشار نیروهای واکنش خاکورزی در یک صفحه دوبعدی رخ می‌دهد و نیروی خاکورزی در واحد عرض ثابت است. نیروی واکنش خاک (P) بر حسب کیلونیوتن که بر روی لبه‌های برش دیسک در جهت روبه جلو عمل می‌کند را می‌توان با استفاده از معادله ۵ توضیح داد.



تئوری دیسک‌های دندانه دار

نیروهای مقاومت خاکورزی که بر روی دندانه‌های دیسک اثر می‌گذارد، نیروی وارد شده در نقطه تماس ابزار با خاک را خنثی می‌کند تا در یک لحظه چرخشی ایجاد کند. نیروی کششی و نیروی مقاومت عمودی را می‌توان به ترتیب با استفاده از معادلات ۶ و ۷ بیان کرد.

نیروی کششی (KN)

$$F_H = P \sin(\alpha + \delta) + c_a d T \cot \alpha \quad (6)$$

زاویه چنگال تیغه (درجه)

زاویه اصطکاک داخلی (درجه)

نیروی برش کاه و کُش (KN)

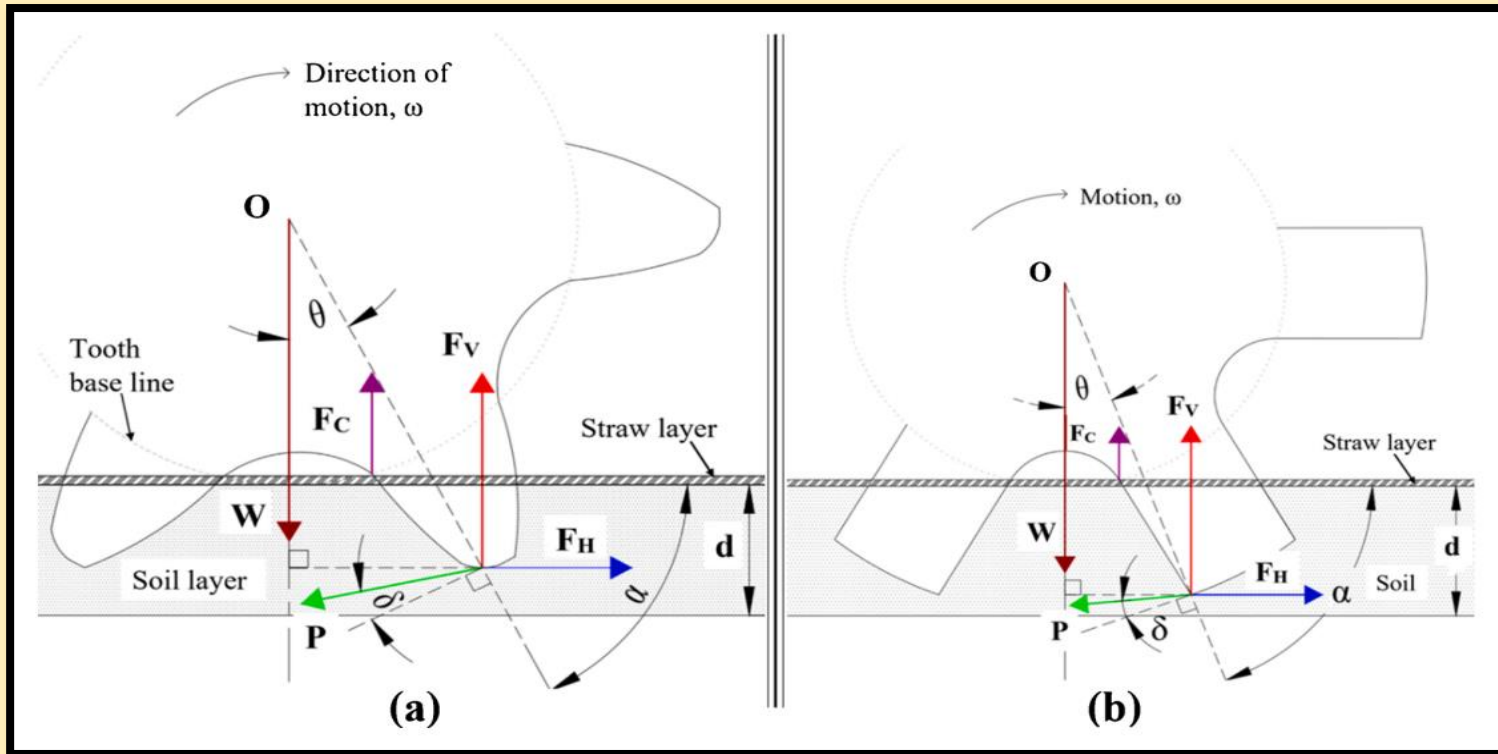
$$F_V = P \cos(\alpha + \delta) + c_a d T + W + F_C \quad (7)$$

نیروی مقاومت عمودی (KN)

وزن دیسک (KN)

تئوری دیسک‌های دندانه دار

خاکورزی مفید و مؤثر زمانی حاصل می‌شود که نیروی اعمال شده برای غلبه بر مقاومت خاک کافی باشد. با فرض اینکه سطح مشترک دیسک جانبی و خاک، بدون اصطکاک باشد. مؤلفه‌های نیرویی که بر روی دیسک‌های بیومیمتیک و دیسک شیاردار اثر می‌گذارد به ترتیب در شکل‌های ۶-a و ۶-b نشان داده شده است.



شکل ۶: مقاطع درگیر در خاک و مؤلفه‌های نیرو که اثر می‌گذارد بر:

- (a) دندانه‌های دیسک بیومیمتیک
- (b) دندانه‌های دیسک شیاردار

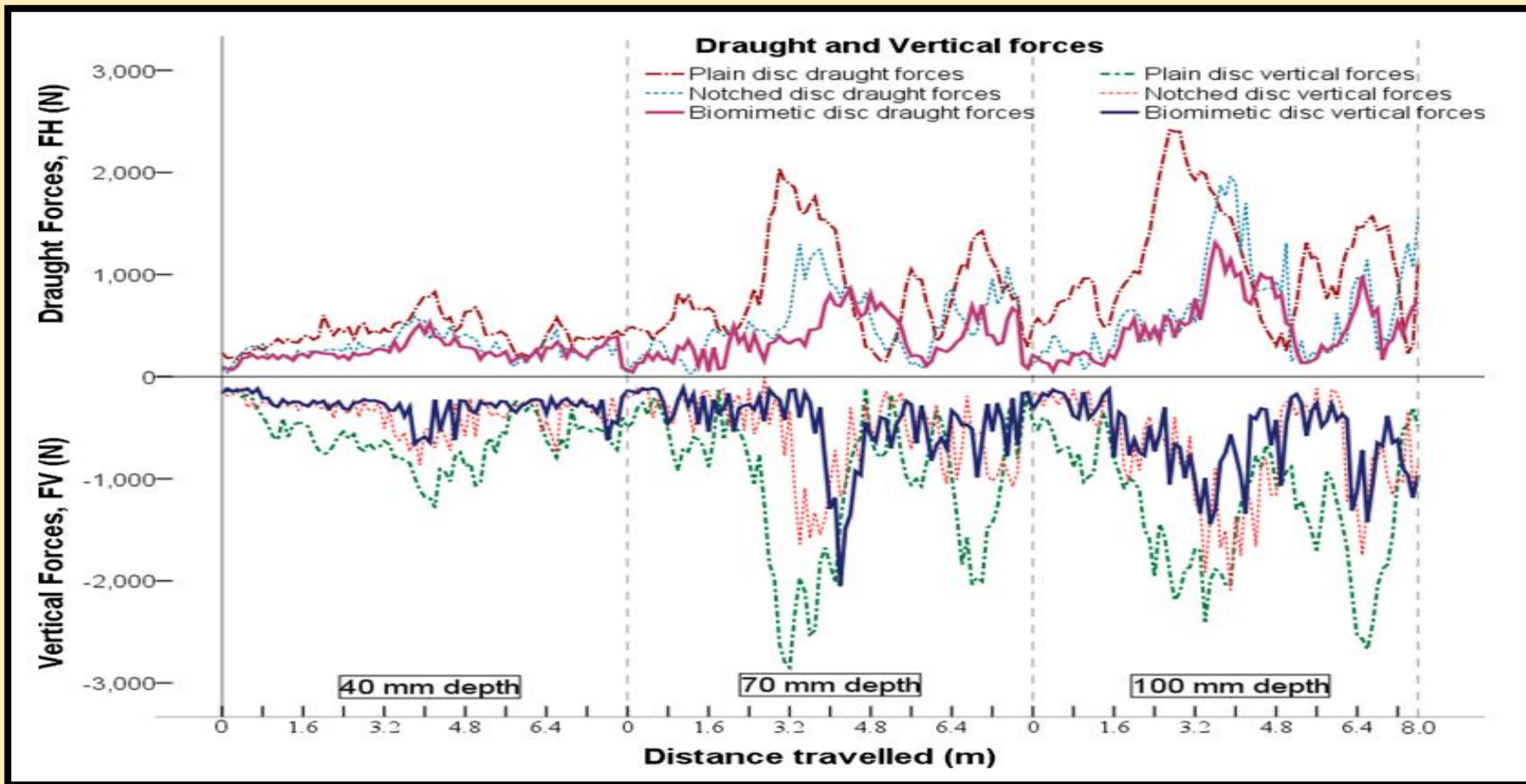
نتایج

نیروهای خاکورزی

نیروهای عمودی

نیروهای افقی

نیروهای عمودی و افقی اندازه‌گیری شد. برای تمام دیسک‌های مورد آزمایش با افزایش عمق خاکورزی نیروهای خاکورزی نیز روند افزایشی را نشان دادند.



شکل ۷

روند تغییرات نیروهای مقاومت کششی و عمودی برای سه دیسک در طول سه عمق خاکورزی (شخم)

نیروهای عمودی

طراحی دیسک بر نیروهای عمودی اندازه‌گیری شده، اثر معنی‌داری را نشان می‌دهد. دیسک بیومیمتیک میانگین نیروی عمودی ۴۴۹.۱۳ نیوتن را ثبت کرد که ۲۱.۴ درصد کمتر از دیسک شیاردار با میزان نیروی عمودی ۵۴۵.۳۸ نیوتن بود. دیسک ساده دارای میانگین نیروی عمودی بسیار بالاتری برابر ۹۷۴.۵۵ نیوتن بود.

تنظیم عمق شخم نیز تأثیر معنی‌داری بر نیروی عمودی دارد. میانگین نیروی عمودی با افزایش عمق شخم افزایش یافت؛ به گونه‌ای که در عمق ۴۰ میلی‌متری برابر ۴۲۰.۲۸ نیوتن، در عمق ۷۰ میلی‌متری برابر ۶۸۲.۲۵ نیوتن و در عمق ۱۰۰ میلی‌متری برابر ۸۶۶.۵۳ نیوتن می‌باشد.

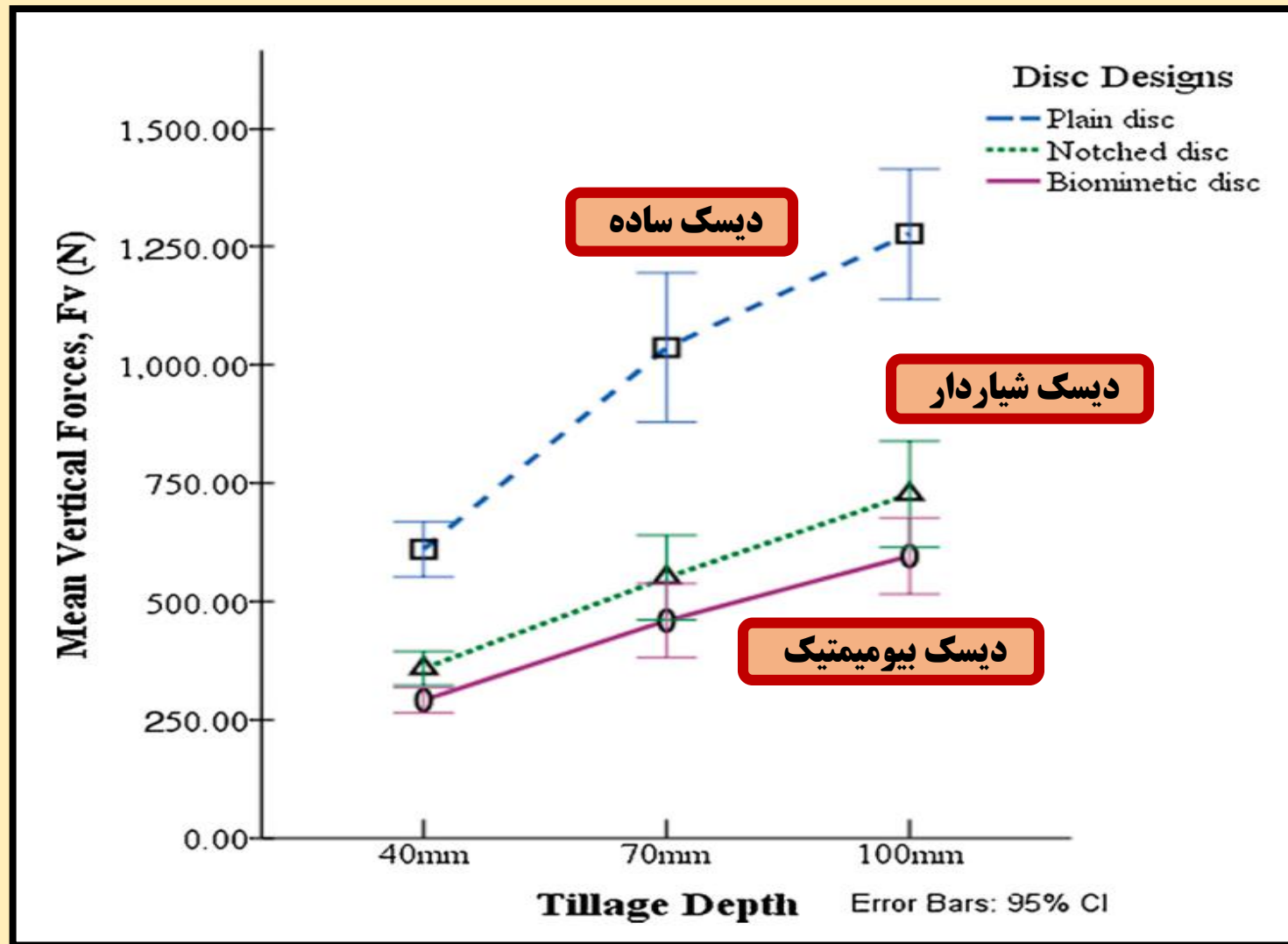
در این میان تأثیر طراحی دیسک نسبت به عمق خاکورزی بر روی نیروهای عمودی بیشتر بود.

در شکل ۸ نمودارهای میانگین نیروهای عمودی را در سه عمق خاکورزی ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ میلی‌متر نشان می‌دهد.

نیروهای عمودی

شکل ۸

میانگین نیروهای عمودی سه طرح دیسک در سه عمق خاکورزی



میانگین نیروهای عمودی

عمق خاکورزی

نیروهای افقی (کششی)

طرح دیسک از نظر آماری تأثیر معنی‌داری بر نیروهای افقی یا کششی داشت. دیسک بیومیمتیک کمترین میانگین نیروی کششی ۳۷۴.۱۱ نیوتن را ثبت کرد که ۲۸.۷ درصد کمتر از دیسک شیاردار با میزان نیروی کششی ۴۸۱.۴۷۹ نیوتن بود. دیسک ساده دارای میانگین نیروی کششی بیشتری تقریباً دو برابر دیسک بیومیمتیک و برابر ۷۹۴.۶۵ نیوتن بود.

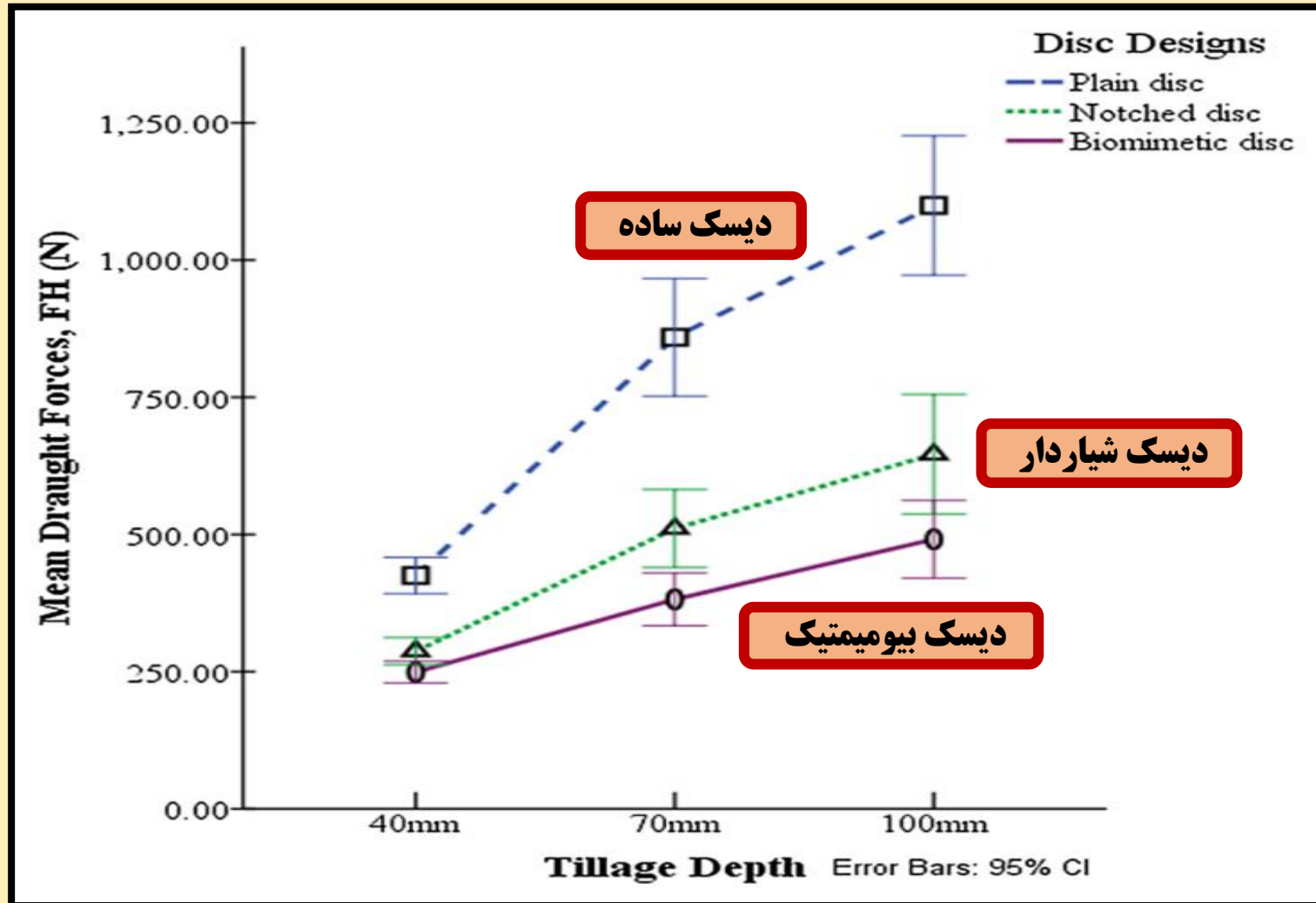
تغییر عمق خاکورزی اثر متفاوت و قابل توجهی بر روی نیروهای کششی ایجاد می‌نماید. با افزایش عمق خاکورزی یا شخم، میانگین نیروهای کششی افزایش می‌یابد؛ به گونه‌ای که در عمق ۴۰ میلی‌متری نیروی کششی برابر ۳۲۰.۶۱ نیوتن، در عمق ۷۰ میلی‌متری برابر ۵۸۳.۹۸ نیوتن و در عمق ۱۰۰ میلی‌متری برابر ۷۴۵.۶۶ نیوتن می‌باشد.

در این میان تأثیر طراحی دیسک نسبت به عمق خاکورزی بر روی نیروهای کششی بیشتر بود.

نیروهای افقی (کششی)

شکل ۹

میانگین نیروهای کششی سه طرح دیسک در سه عمق خاکورزی



عمق خاکورزی

دیسک ساده

دیسک شیاردار

دیسک بیومیمتیک

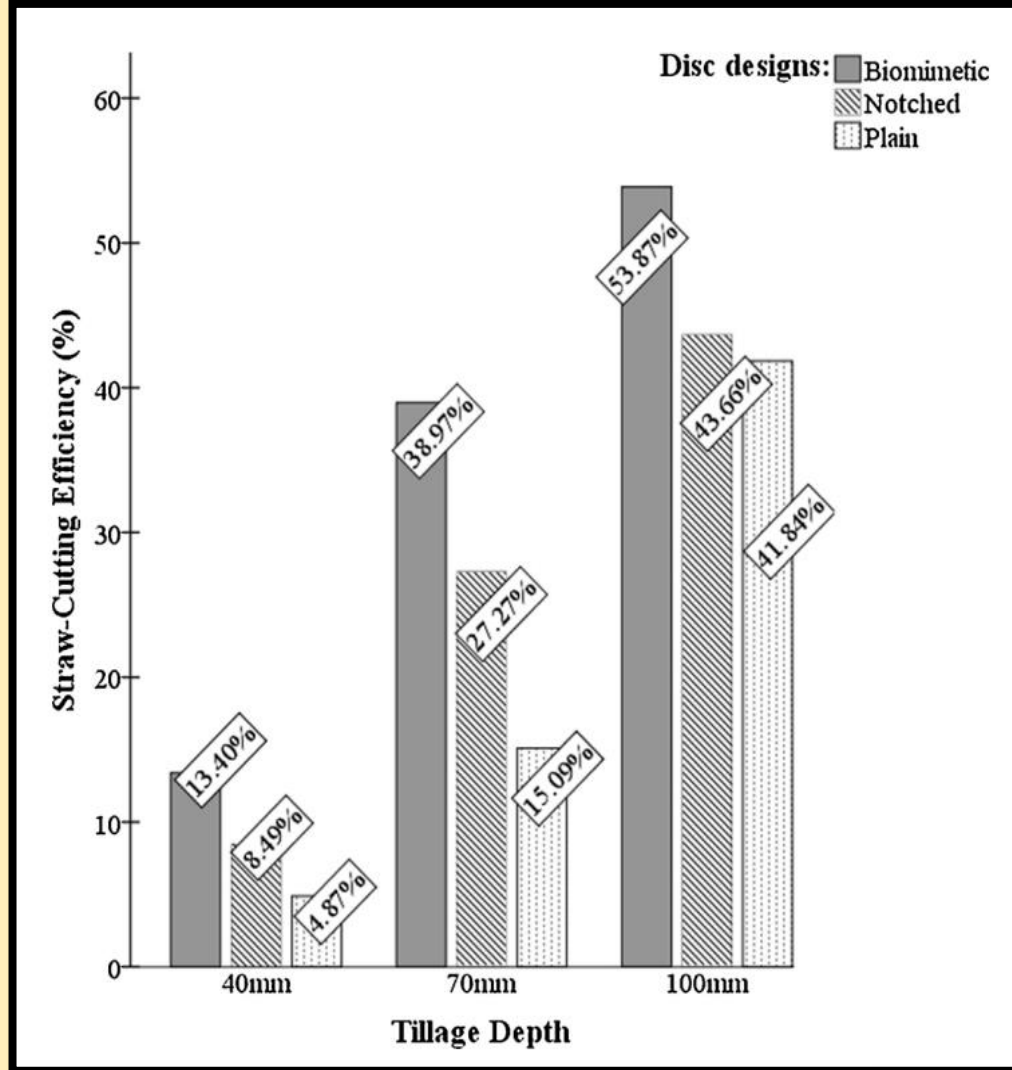
میانگین نیروهای کششی

بازدهی برش کاه

راندمان برش کاه همانطور که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است، در مورد هر سه دیسک با افزایش عمق خاکورزی، افزایش می‌یابد. راندمان برش کاه در دیسک بیومیمتیک در سه عمق خاکورزی ۴۰، ۷۰، و ۱۰۰ میلی‌متر به ترتیب ۸.۵ درصد، ۲۳.۹ درصد و ۴۱.۸۴ درصد بیشتر از عملکرد دیسک ساده و به ترتیب ۴.۹ درصد، ۱۱.۷ درصد و ۰.۲ درصد بیشتر از عملکرد دیسک شیاردار بود.

شکل ۱۰

بازدهی برش کاه سه دیسک آزمایش در سه عمق خاکورزی



عمق خاکورزی

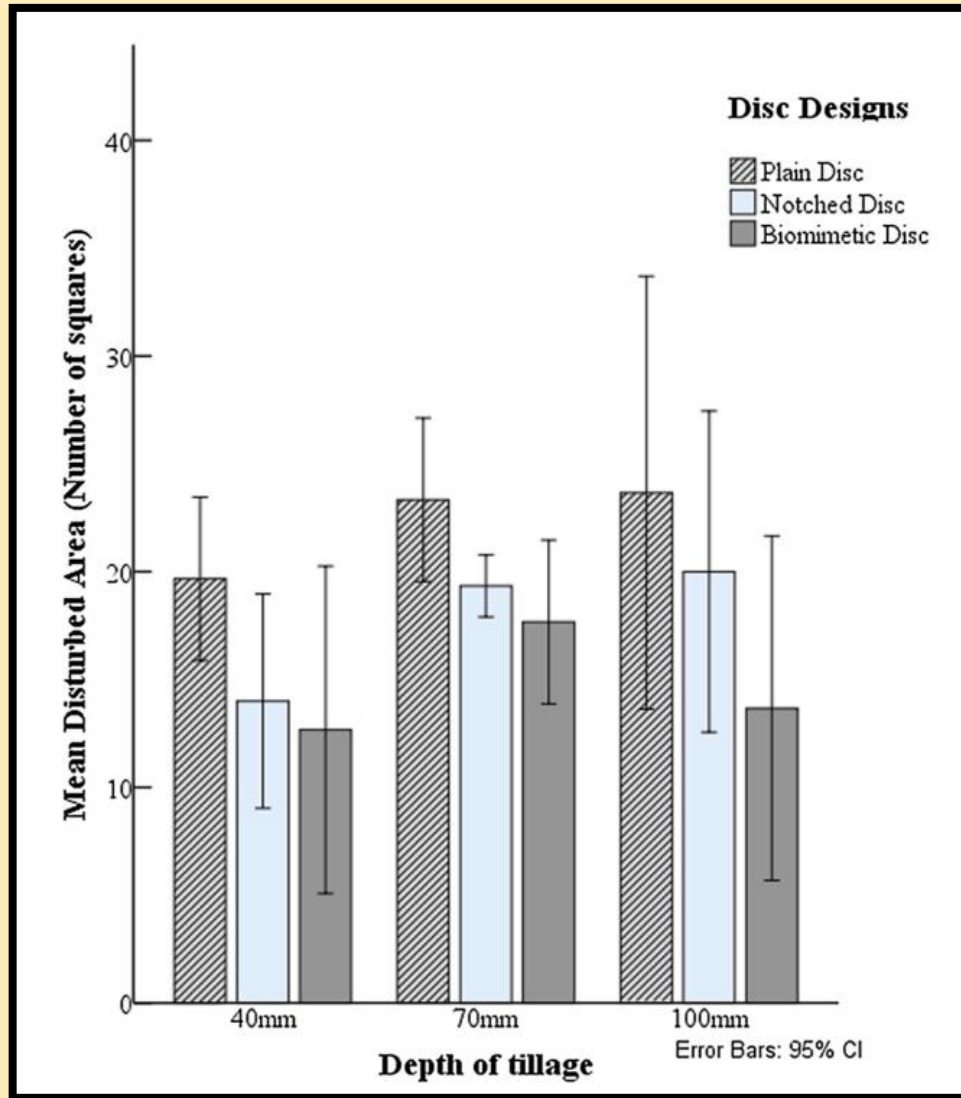
بازدهی برش کاه

میزان تخریب خاک

میانگین سطح تخریب همه ۴۰ مربع در شبکه‌ها به عنوان نرخ یا میزان تخریب دیسک‌ها مانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، تخمین زده شد. دیسک ساده که در عمق ۴۰ میلی‌متری کار می‌کرد، بیشترین تخریب خاک را ثبت کرد. در حالی که دیسک بیومیمتیک کمترین میزان تخریب را در تمام عمق‌های شخم داشت. تغییر مکان‌های ردیاب‌ها با عمق، برای تمام طرح‌های دیسک‌ها متفاوت بود. دیسک ساده ردیاب‌ها را با بیشترین مقدار جابجا کرد، به دنبال آن دیسک شیاردار قرار می‌گیرد؛ در حالی که دیسک بیومیمتیک کمترین میزان جابجایی ردیاب‌ها را داشت.

شکل ۱۱

میزان تخریب خاک ناشی از دیسک‌ها در سه عمق خاکورزی



عمق خاکورزی

میانگین سطح تخریب (تعداد مربع‌ها)

شاخص‌های تخریب خاک و بیشترین جابجایی در جدول ۳ نشان داده شده است.

Tillage Depth (mm)	Description (mm)	Disc Design			
		Plain	Notched	Biomimetic	
40	Disturbance index	122.9	87.5	79.2	
	Max displacement	x-axis (Tracer) (C2)	70	60	40
		y-axis (Tracer) (C2)	200	90	110
70	Disturbance index	83.3	69.0	50.0	
	Max displacement	x-axis (Tracer) (C10)	90	90	50
		y-axis (Tracer) (C10)	130	100	40
100	Disturbance index	59.2	50.0	34.2	
	Max displacement	x-axis (Tracer) (C8)	180	70	60
		y-axis (Tracer) (C9)	90	190	-40

جدول ۳

شاخص‌های اغتشاش (DI) و حداکثر تغییر مکان‌ها از نقطه مرجع (روی محورهای x,y) و شناسایی بیشترین ردیاب جابجا شده

اثرات طراحی دیسک بر نیروهای مقاومت خاکورزی

طراحی دیسک تأثیر قابل توجهی بر نیروهای خاکورزی اندازه‌گیری شده داشت. نیروهای خاکورزی با افزایش عمق، افزایش یافت که این امر نشان‌دهنده مقاومت بیشتر در لایه‌های عمیق‌تر خاک است. در این میان مقاومت کمترِ دیسک دندانه‌دار در مقایسه با دیسک ساده، مزیت ساختاری سازه‌های دیسک دندانه‌دار را نشان می‌دهد. سینماتیک دیسک بیومیمتیک، از مکانیزم برشِ خاک توسط پنجه موش کور الگو گرفته و چنگال‌ها با چنگ زدن سوراخ قوسی شکلی را ایجاد می‌کند که به طور مؤثر خاک را بریده و حفاری مسطح، پیوسته و سریع را ایجاد می‌کند. در حقیقت تیزترین دندانه دیسک بیومیمتیک به آن اجازه می‌دهد که مشابه ابزاری با لبه‌های منحنی چرخان که به راحتی زمین را با کمترین مقاومت برش می‌دهد، عمل کند. در دیسک شیاردار انحنای لبه‌های برش بین دندانه‌های تیز کاهش می‌یابد و موجب برش ضعیف و ناهموار خاک می‌شود.

اثرات طراحی دیسک بر نیروهای مقاومت خاکورزی

در دیسک شیاردار تمرکز نیروهای خاکورزی بر روی رئوس یا گوشه‌های نوک تیز باعث ایجاد بارهای ضربه‌ای می‌شود و ممکن است ابزار را ضعیف کرده و در نتیجه سایش، بریدگی و پارگی سریعتر ابزار را به همراه داشته باشد. برعکس، دیسک بیومیمتیک نیروها را روی مقطع منحنی خود توزیع می‌کند و تأثیر تنش‌های نقطه‌ای را خنثی می‌کند و در نتیجه طول عمر ابزار را افزایش می‌دهد. بنابراین طراحی دیسک بیومیمتیک یک گزینه بهبود یافته ساختاری و کارآمد انرژی برای خاکورزی در خاک‌های متراکم مالچ شده از کاه ارائه می‌دهد. این امر استفاده از تراکتور، ادوات سبک و وسایلی که به توان موتور کمتری نیاز دارد را تسهیل می‌کند. استفاده از ماشین‌های سبک‌تر موجب افزایش نرخ کار و کاهش زمان عملیات مزرعه می‌شود. علاوه بر این تراکم خاک ناشی از ترافیک به حداقل می‌رسد، هزینه‌های عملیاتی کاهش می‌یابد و استفاده محتاطانه از منابع برای مکانیزه شدن کشاورزی پایدار را ترغیب می‌کند.

تأثیرات طراحی دیسک بر بازدهی برش کاه

بازدهی برش کاه و گلش تحت تأثیر طراحی دیسک انتخابی قرار گرفت و با افزایش عمق خاکورزی افزایش یافت. دیسک ساده که به دلیل لبه صاف آن مستعد لغزش سُرخوردن روی کاه و گلش و گیرکردن پُرز و کرک می‌باشد، کمترین راندمان برش کاه و گلش را داشت. **دیسک‌های دندانه‌دار به دلیل توانایی چرخش، عملکرد بهتری داشتند و در نتیجه نفوذ دیسک‌ها به خاک، کاه و گلش بر روی زمین برش می‌خورد. کاهش لبه‌های برش و نفوذ ضعیف دیسک شیاردار موجب می‌شود، از روی زمین بلند شود و مقادیری از کاه و گلش‌ها برش نخورده رها شود. به همین دلیل دیسک شیاردار در مقایسه با دیسک بیومیمتیک بازدهی کمتری داشت. دیسک بیومیمتیک که دارای لبه‌های منحنی شکلی است، به طور مؤثری لایه‌های ضخیم کاه و گلش را برش می‌دهد. این طرح چسبندگی و توانایی برش بهتر بقایای گیاهی در لبه‌های منحنی داخلی، بین دندانه‌ها را فراهم می‌کند؛ زیرا به راحتی در لایه‌های کاه و خاک نفوذ می‌کند. شانس گیر کردن پُرز و کرک در ابزار و یا سُرخوردن ابزار روی کاه و گلش به حداقل می‌رسد و دیسک بیومیمتیک را برای کار در شرایط پسماند متراکم مناسب می‌سازد. بنابراین با استفاده و اتخاذ این طرح در کشت فشرده گندم - برنج، عملیات مکانیزه در شرایط مالچ متراکم بهبود می‌یابد، زیرا کاه و گلش فرآوری شده به آرامی جریان می‌یابد و امکان گرفتگی ادوات را از بین می‌برد. این امر امکان بذریاشی پربازده و کارآمد را با بازکردن شیارهای بهتر و قراردادن دقیق بذر و کود و تماس بهتر بین بذر و خاک را فراهم می‌کند. بنابراین سرعت جوانه‌زنی بذر و میزان سبزشدن گیاهچه بهبود می‌یابد و عملکرد تولید محصول افزایش می‌یابد.**

اثرات تخریب سطحی خاک در طراحی دیسک

طراحی دیسک تأثیر معنی‌داری بر میزان تخریب سطح خاک داشت. دیسک ساده به دلیل سطح وسیعی از تماس ابزار با خاک، موجب تخریب و میزان جابه‌جایی زیادی می‌شود. دیسک شیاردار باعث ایجاد اختلال در سطح ناهموار و جابجایی نسبتاً زیاد می‌شود، زیرا به صورت انتخابی بخش‌هایی را روی زمین شخم می‌زند. لبه‌های صاف و تیز مقدار بیشتری از خاک را بلند کرده و ردیابهای بیشتری را هم در اطراف شیار شخم، پراکنده می‌کند. لبه‌های برش منحنی و خمیده دیسک بیومیمتیک، تخریب خاک را به حداقل رسانده و در عین حال خاکورزی مؤثرتری را ارائه می‌دهد. این کار به سست یا شل کردن لایه‌های عمیق‌تر خاک برای دستیابی به عمق کاشت یکنواخت و ایجاد محیط مساعد برای بذرها با بهبود هوادهی و نفوذ آب کمک می‌کند که از چالش‌های رایج کشاورزی حفاظتی هستند. علاوه بر این حفظ سطوح پوشیده از کاه با خطوط تراز در لایه‌های کشت شده، خاک را از فرسایش محافظت می‌کند و در عین حال پایداری و انعطاف‌پذیری آن را در طول فصول زراعی بهبود می‌بخشد.

نتیجه گیری

دیسک بیومیمتیک (زیست تقلید)

۲۱.۴ درصد کاهش معنی دار در نیروهای مقاومت عمودی و ۲۸.۷۵ درصد کاهش در نیروهای افقی نسبت به دیسک شیاردار

بهبود قابل توجه راندمان برش کاه و به حداقل رساندن تخریب خاک در مقایسه با دیسک شیاردار و ساده

ارائه راه‌حل‌های متعدد برای کاهش نیاز به نیروهای خاکورزی، افزایش نفوذ خاک، بهره‌وری انرژی و فرآوری بهتر کاه متراکم با کمترین تخریب خاک

- Performance evaluation of a biomimetically designed disc for dense-straw mulched conservation tillage
- <https://lib.salamkeshavarzco.ir/Article/1270>
- <https://www.google.com>
- Ahmad, F., Ding, W., Ding, Q., Rehim, A., Khawar, J., 2017. Comparative performance of various disc-type furrow openers in no-till paddy field conditions. *Sustainability* 9, 1–15.
- ASABE, 2006. Soil Cone Penetrometer. ASAE Stand. ASAE S313.3. ASABE, 2012. Moisture Measurement - Forages. ANSI/ASAE S358.3. <https://doi.org/10.13031/2013.41661>.
- ASTM, 2017. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). ASTM D2487-17.
- Carter, M.R., 1994. A review of conservation tillage strategies for humid temperate regions. *Soil Tillage Res.* 31, 289–301.
- Carter, M.R., Gregorich, E.G., 2008. *Soil Sampling and Methods of Analysis*, 2nd ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Chirende, B., Li, J., 2009. Review on application of biomimetics in the design of agricultural implements. *Biotechnol. Mol. Biol. Rev.* 4, 42–48.
- Conte, O., Levien, R., Debiasi, H., Sturmer, S.L.K., Mazurana, M., Muller, J., 2011. Soil disturbance index as an indicator of seed drill efficiency in no-tillage agrosys-tems. *Soil Tillage Res.* 114, 37–42.
- Armorer, D.P., 1995. Evaluation of performance of furrow openers of combined seed and fertiliser drills. *Soil Tillage Res.* 34, 127–139. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)00452-K](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)00452-K).
- Dehghan-Hesar, H., 2016. Design a biomimetic disc using geometric features of the claws. *CIGR J.* 18.
- Fredlund, D., Vanapalli, S., 2002. Shear strength of unsaturated soils. In: Dane, J.H., Topp, G.C. (Eds.), *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 329–361.
- Godbol'e, R.D., Marley, S.J., 1997. Comparing rolling coulters based on soil disturbance. *Agric. Biosyst. Eng. Iowa State University, Ames, Iowa*. <https://doi.org/10.31274/rtd-180813-13262>.
- Hettiaratchi, D.R.P., 1997. The soil contact zones of concave agricultural discs: part 1, theoretical analysis. *J. Agric. Eng. Res.* 67, 113–125. <https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0158>.
- Huo, L.F., Liang, L., Abbas, A., White, D., Ding, Q.S., Wang, X.C., He, R.Y., 2020. Soil disturbance under small harvester traffic in paddy-based smallholder farms in China. *Agron. J.* 1–11. <https://doi.org/10.1002/agj2.20134>.

- Ji, W., Chen, D., Jia, H., Tong, J., 2010. Experimental investigation into soil-cutting performance of the claws of mole rat (*Scaptochirus moschatus*). *J. Bionic Eng.* 7, S166–S171. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(09\)60231-6](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(09)60231-6).
- Jia, H., Wang, Q., Huang, D., Zhu, L., Li, M., Zhao, J., 2019. Design of bionic mole forelimb intelligent row cleaners. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 12, 27–35. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191203.4408>.
- Kushwaha, R.L., Vaishnav, A.S., Zoerb, G.C., 1986. Soil bin evaluation of disc coulters under no-till crop residue conditions. *Trans. ASAE* 29, 40–44.
- Li, M., Chen, D., Zhang, S., Tong, J., 2013. Biomimetic design of a stubble-cutting disc using finite element analysis. *J. Bionic Eng.* 10, 118–127. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(13\)60206-1](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(13)60206-1).
- Magalhaes, P.S.G., Bianchini, A., 2007. Simulated and experimental analyses of a toothed rolling Coulters for cutting crop residues. *Biosyst. Eng.* 96, 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.10.014>.
- McKey, E., 1989. Agricultural engineering soil mechanics. In: McKey, E. (Ed.), *Developments in Agricultural Engineering*. ELSEVIER, New York, pp. 1–291.
- Nalavade, P.P., Soni, P., Salokhe, V., Niyamapa, T., 2011. Comparative performance of standard, notched and spiral-notched tillage discs. *Int. Agric. Eng. J.* 20, 18–26.
- Ren, L., 2009. Progress in the bionic study on anti-adhesion and resistance reduction of terrain machines. *Sci. China Ser. E Technol. Sci.* 52, 273–284. <https://doi.org/10.1007/s11431-009-0042-3>.
- Ren, L.Q., Tong, J., Li, J.Q., Chen, B.C., 2001. Soil adhesion and biomimetics of soil-engaging components: a review. *J. Agric. Eng. Res.* 79, 239–263.
- Sidhu, H.S., Singh, M., Singh, Y., Blackwell, J., Lohan, S.K., Humphreys, E., Jat, M.L., Singh, V., Singh, S., 2015. Development and evaluation of the Turbo Happy Seeder for sowing wheat into heavy rice residues in NW India. *Field Crop. Res.* 184, 201–212. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.025>
- Tong, J., Moayad, B.Z., Ma, Y., Sun, J., Chen, D., Jia, H., Ren, L., 2009. Effects of biomimetic surface designs on furrow opener performance. *J. Bionic Eng.* 6, 280–289. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(08\)60128-6](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(08)60128-6).

- Tong, J., Ji, W., Jia, H., Chen, D., Yang, X., 2015. Design and tests of biomimetic blades for soil-rototilling and stubble-breaking. *J. Bionic Eng.* 12, 495–503. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(14\)60140-2](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(14)60140-2).
- Wang, Y., Bi, Y., Gao, C.-Y., 2010. The assessment and utilization of straw resources in China. *Agric. Sci. China* 9, 1807–1815. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60279-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60279-0).
- Xia, L., Wang, S., Yan, X., 2014. Effects of long-term straw incorporation on the net global warming potential and the net economic benefit in a rice-wheat cropping system in China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 197, 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.001>.
- Yang, Y., Li, M., Tong, J., Ma, Y., 2018. Study on the interaction between soil and the five-claw combination of a mole using the discrete element method. *Appl. Bionics Biomech.* 1–11. <https://doi.org/10.1155/2018/7854052>.
- Zareiforush, H., Mohtasebi, S., Tavakoli, H., Alizadeh, M.R., 2010. Effect of loading rate on mechanical properties of rice (*Oryza sativa* L.) straw. *Aust. J. Crop Sci.* 4, 190–195.
- Zhang, J., Tong, J., Ma, Y., 2014. Design and experiment of bionic anti-drag subsoiler. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 45, 141–145. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2014.04.022>.
- Zhang, W., Zheng, C., Song, Z., Deng, A., He, Z., 2015. Farming systems in China: innovations for sustainable crop production. In: Sadras, Victor O., D.F.C (Eds.), *Crop Physiology. Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. Academic Press, pp. 43–64. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417104-6.00003-0>.
- Zhang, Z., Jia, H., Sun, J., 2016. Review on application of biomimetic for designing soilengaging tillage implements in Northeast China. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 9, 12–21.
- Zhou, W., Lv, T.F., Chen, Y., Westby, A.P., Ren, W.J., 2014. Soil physicochemical and biological properties of paddy-upland rotation: a review. *ScientificWorldJournal* 2014, 856352. <https://doi.org/10.1155/2014/856352>.



از توجه و همراهی شما بی نهایت سپاسگزارم