



مدل سازی عددی مقاومت کششی یک تیغه باریک بدون باله خاک‌ورز به روش المان محدود

محدثه عارفی^۱، سید حسین کارپرور فرد^۲، هادی عظیمی نژادیان^۳

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
- ۲- دانشیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
- ۳- دانش آموخته دکتری مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

چکیده

برآورد مقدار کشش و انرژی مورد نیاز ادوات خاک‌ورز، مهم‌ترین عامل در طراحی و کاربرد آن‌ها محسوب می‌گردد. روش اجزای محدود از جمله روش‌های عددی است که به طور گسترده به منظور فهم بهتر روند حرکت توده خاک و پیش‌بینی نیروهای وارد بر ابزار خاک‌ورز استفاده می‌شود. هدف از این پژوهش مدل‌سازی عددی تیغه باریک جدید بدون باله در خاک‌ورزی حفاظتی به منظور پیش‌بینی مقاومت کششی آن با استفاده از روش اجزای محدود می‌باشد. مقاومت‌های کششی حاصل از داده‌برداری-های مزرعه‌ای به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصله از شبیه‌سازی‌های عددی انجام شد. نتایج مقاومت کششی پیش‌بینی شده به روش المان محدود در مقابل نیروی مقاومت کششی در مزرعه برای خاک‌ورز با تیغه باریک رسم شد. ضریب تبیین قابل قبولی (۰/۹۲) بین مقادیر مشاهده شد که نشان از دقت قابل قبول شبیه‌سازی است. همچنین نتایج نشان داد که اثر عمق و سرعت پیشروی روی مقاومت کششی ابزار خاک‌ورز در سطح احتمال یک درصد معنادار است. به طوری که با افزایش ۲۵ و ۳۳/۳۳ درصد در عمق خاک‌ورزی و سرعت پیشروی مقدار نیروی کششی ابزار به ترتیب ۱۲/۵ و ۴/۶ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین نتایج این تحقیق نشان داد اثر عمق خاک‌ورزی روی نیروی کششی ابزار خاک‌ورز بیشتر از سرعت پیشروی است.

واژگان کلیدی: سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی، مقاومت کششی، روش المان محدود

مقدمه

خاک‌ورزی بعنوان یکی از اصلی‌ترین مراحل در عملیات کشاورزی است که می‌تواند به دو دسته خاک‌ورزی مرسوم و خاک‌ورزی حفاظتی تقسیم شود [۱۶]. در خاک‌ورزی حفاظتی حداقل ۳۰ درصد بقایای گیاهی بر روی سطح خاک باقی می‌ماند [۱۸]. کشاورزی حفاظتی سبب بهبود خواص فیزیکی خاک و فرآیندهای مربوط به آن و باعث می‌شود تراکم، فرسایش و سله‌ی سطحی خاک کاهش یابد [۱۲]. در طراحی و ساخت ابزار خاک‌ورزی، مقاومت کششی نقش تأثیرگذاری دارد؛ با توجه به این موضوع گردآوری داده‌های مقاومت کششی ابزارهای خاک‌ورزی در شرایط مزرعه‌ای مختلف، کاری زمان‌بر و پرهزینه است [۵]. همچنین برای تعیین نوع و اندازه تراکتور متناسب با ادوات، اندازه‌گیری مقاومت کششی و توان مورد نیاز ابزار خاک‌ورزی بسیار مهم می‌باشد [۶]. در نتیجه یکی از جنبه‌های مهم عملیات خاک‌ورزی، کاهش مقاومت کششی ابزارهای خاک‌ورزی است. استفاده از ادواتی که این مهم را فراهم سازد دارای اهمیت بالایی هستند [۱۰]. مهم‌ترین قسمت یک ابزار خاک‌ورزی که کار برش خاک را انجام می‌دهد و با خاک درگیر است، تیغه می‌باشد. در تحقیقی، نوعی تیغه خاک‌ورزی جدید در دو وضعیت با باله و بدون باله در مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش زاویه تمایل، مقادیر مقاومت کششی خاک‌ورزی کاهش یافته است. در نهایت زاویه تمایل ۲۵ درجه برای هر دو وضعیت با باله و بدون باله پیشنهاد شد [۳]. همچنین در تحقیقی دیگر، مناسب‌ترین زاویه حمله این تیغه باریک تغییر یافته در دو حالت باله‌دار و بدون باله بررسی شد. مقدار بهینه زاویه حمله تیغه، برای تیغه بدون باله ۲۰ درجه و برای تیغه باله‌دار برابر ۳۰ درجه بدست آمد [۱]. برای انجام این تحقیق، از این تیغه باریک تغییر یافته در وضعیت بدون باله به ترتیب با زاویه تمایل و زاویه حمله بهینه شده ۲۵ و ۲۰ درجه استفاده گردید. با توجه به محدودیت‌های روش‌های تحلیلی و مشکلاتی که برای انجام تست‌های مورد نیاز وجود دارد، پاسخ دینامیکی خاک به یک خاک‌ورزی به خوبی درک یا پیش‌بینی نشده است. به همین دلیل بسیاری از پژوهشگران از روش المان محدود (FEM) برای شبیه‌سازی برهمکنش خاک با ابزار خاک‌ورزی و فرآیند برش خاک استفاده کرده‌اند [۷، ۸، ۹، ۱۳ و ۱۷]. در پژوهشی از روش المان محدود به منظور شبیه‌سازی الگوی شکست خاک استفاده گردید. نتایج شبیه‌سازی با نتایج بدست آمده از مزرعه مقایسه شد. نتایج این مقایسه نشان داد که روش المان محدود یک روش قابل اعتماد برای شبیه‌سازی برهم‌کنش خاک با ابزار است [۱۷]. در تحقیقی از روش المان محدود به منظور ایجاد رابطه‌ای بین مقاومت کششی و پارامترهای فیزیکی خاک (چگالی ظاهری خشک و مرطوب، عمق و رطوبت) استفاده گردید. با توجه به نتایج به دست آمده از این روش مقاومت کششی زیرشکن با افزایش چگالی ظاهری خشک و مرطوب خاک و عمق افزایش یافته، در صورتیکه

¹- Finite Element Method



با افزایش میزان رطوبت، مقاومت کششی وسیله خاک‌ورز کاهش می‌یابد. تغییرات مقاومت کششی رابطه‌ای خطی با درصد رطوبت خاک، رابطه‌ای درجه دو با چگالی ظاهری مرطوب و عمق و رابطه‌ای درجه سه با چگالی ظاهری خشک خاک دارد [۱۳]. لطیفی عموقین و شاهقلی [۲] پژوهشی به منظور بررسی اثر نسبت عمق به عرض و سرعت پیشروی تیغه باریک خاک-ورزی روی نیروی کششی و مدل‌سازی آن به روش اجزا محدود و با استفاده از نرم‌افزار آباکوس انجام دادند. در این تحقیق برای اندازه‌گیری و تعیین عوامل موثر بر مقدار نیروی مقاومت کششی ابزارهای باریک خاک‌ورزی، آزمایش‌های مزرعه‌ای در خاک لومی رسی و از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی و با سه تکرار استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزوده شدن سرعت پیشروی در تمام نسبت‌های عمق به عرض نیروی کششی افزایش یافت. همچنین با افزایش عمق خاک‌ورزی از نیروی مقاومت کششی در تمامی شرایط افزایش یافت. تحقیقی به منظور ارائه معادله‌ای برای مقاومت کششی گاوآهن برگردان‌دار بر اساس پارامترهای فیزیکی خاک (محتوای رطوبت و چگالی خاک) با استفاده از روش المان محدود انجام شد. برای توسعه این مدل از ۲۱ نمونه خاک استفاده شد بطوریکه شبیه‌سازی نیروی مقاومت ابزار خاک‌ورز برگردان‌دار برای هر کدام از نمونه خاک‌ها انجام شد و در نهایت معادله‌ای بر اساس رگرسیون چند متغییری برای پیش‌بینی مقاومت کششی این ابزار خاک‌ورز ارائه شد. نتایج نشان داد که استفاده از روش المان محدود روشی قابل اعتماد برای شبیه‌سازی برهم‌کنش خاک و ابزار بوده و همچنین معادله‌ای ارائه شده برای پیش‌بینی مقاومت کششی از دقت قابل قبولی برخوردار است [۸].

هدف از این پژوهش مدل‌سازی عددی تیغه باریک جدید بدون باله در خاک‌ورزی حفاظتی و پیش‌بینی مقاومت کششی آن به روش اجزا محدود می‌باشد. برای تأیید نتایج حاصل از شبیه‌سازی، آزمایش‌های مزرعه‌ای برای اندازه‌گیری نیروی کششی ابزار خاک‌ورز انجام شد.

مواد و روش‌ها

داده‌برداری‌های این پژوهش در دو مرحله‌ی مزرعه‌ای و نرم‌افزاری صورت گرفت. از تیغه‌ی بدون باله مجهز به زاویه تمایل ۲۵ درجه [۳] و زاویه حمله ۲۰ درجه [۱] استفاده گردید که به شاسی یک واحد خاک‌ورز قلمی نوع سوارشونده تولید شرکت آژ تپراک متصل شد. از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (قطعه ۲۲، ۱۱ کیلومتری شمال شهر شیراز به طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) برای داده‌برداری استفاده گردید. هدف از داده‌برداری‌های مزرعه‌ای، صحت‌سنجی مقادیر نیروهای کششی پیش‌بینی شده توسط روش المان محدود از طریق مقایسه با مقادیر مزرعه‌ای و همچنین ارزیابی دقت روش المان محدود بود. ویژگی‌های فیزیکی خاک مزرعه قبل از عملیات خاک‌ورزی اندازه‌گیری شده است، که مقادیر آن در جدول ۱ آورده شده است.



مزرعه آزمایشی بر اساس آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک کامل تصادفی کرت بندی شدند. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح عمق خاک ورزی ۱۵ و ۲۰ سانتی متر و دو سطح سرعت پیشروی ۲ و ۳ کیلومتر بر ساعت به همراه ۳ تکرار که بعنوان عوامل مستقل برای اندازه گیری مقاومت کششی بعنوان متغیر وابسته بودند، در نظر گرفته شد. از روش آزمون دو تراکتوری برای اندازه گیری مقاومت کششی ابزار خاک ورز استفاده گردید. به منظور تحلیل آماری داده ها از نرم افزار سس^۲ استفاده گردید.

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی خاک مزرعه آزمایش

بافت خاک	درصد رس	درصد شن	درصد سیلت	درصد رطوبت	چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)
لومی رسی	۳۵	۳۵	۳۰	۱۵	۱/۶۲

نرم افزار آباکوس، یکی از نرم افزارهای مرسوم در زمینه انجام آنالیزهای المان محدود است. مدل سه بعدی برهم کنش خاک با ابزار خاک ورز شامل تیغه ی باریک بدون باله و مکعب خاک شکل پذیر بود. در مطالعات متعددی خاک به عنوان یک جسم الاستیک پلاستیک در نظر گرفته شده و از معیار تسلیم دراگر پراگر برای شبیه سازی برهم کنش خاک با ابزار خاک ورز استفاده کرده اند [۱۱، ۱۴ و ۱۵].

ابتدا تیغه مد نظر با زاویه حمله ۲۰ درجه و زاویه تمایل ۲۵ درجه در نرم افزار سالیدورک^۳ (شکل ۱) ترسیم گردید. سپس تیغه رسم شده در محیط نرم افزار سالیدورک به عنوان یک جسم صلب به دلیل کاهش حجم محاسبات به محیط نرم افزار آباکوس^۴ ۲۰۱۹ منتقل شد. به منظور اعمال شرایط مرزی به این تیغه، نقطه مرجعی در نظر گرفته و نیروهای وارد بر این نقطه مرجع به عنوان نیروهای کششی از نرم افزار استخراج شد. یک مکعب مستطیل با ابعاد ۲۰۰۰ میلی متر (طول)، ۱۰۰۰ میلی متر (عمق) و ۲۰۰۰ میلی متر (عرض) به عنوان محیط خاک در نرم افزار آباکوس ۲۰۱۹ رسم گردید. به منظور کاهش حجم محاسبات مکعب مستطیلی به ابعاد ۸۰۰ میلی متر (عرض)، ۴۰۰ میلی متر (عمق) و ۲۰۰۰ میلی متر (طول) جدا کرده و نقطه ای جهت قرار گرفتن نقطه مرجع تیغه در عمق مورد نظر تعیین شد (شکل ۲).

^۲- SAS

^۳- Solid Works

^۴- Abaqus 2019



شکل ۱- تیغه‌ی طراحی شده در نرم‌افزار سالدورک

- مراحل اجرایی نرم‌افزار آباکوس

در محیطی، که اصطلاحاً آن را property می‌نامند، جنس خاک و تیغه به نرم‌افزار آباکوس معرفی گردید و از معیار تسلیم دراگر-پراگر برای انجام شبیه‌سازی‌ها استفاده شد. خصوصیات خاک و فلز در این نرم‌افزار تعریف شدند (جدول ۲). مقادیر چگالی ظاهری، مدول یانگ و ضریب پواسون تیغه به ترتیب برابر ۷۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مدول یانگ 2×10^5 مگا پاسکال و ضریب پواسون $0/3$ تعریف شد. بعد از اسمبل کردن قطعات از تحلیل دینامیک-صریح^۵ برای حل استفاده گردید. بر این اساس، خروجی‌های حاصل از نرم‌افزار که همان مقاومت کششی بودند، استخراج شدند.

جدول ۲- خواص مکانیکی خاک مزرعه (Azimi-Nejadian et al., 2019)

پارامتر	مقادیر	منبع
چسبندگی خاک (مگاپاسکال)	۲۹	Enayati Arani (2015)
زاویه اصطکاک داخلی خاک در معیار موهر-کولمب (درجه)	۱۴	Enayati Arani (2015)
زاویه اصطکاک خاک و فلز	۰/۲۴	اندازه‌گیری شده
مدول یانگ (مگاپاسکال)	۶/۱۳	اندازه‌گیری شده
ضریب پواسون	۰/۴۴	اندازه‌گیری شده
زاویه اصطکاک داخلی خاک در معیار دراگر-پراگر (درجه)	۲۷/۶۳	محاسبه شده
زاویه اتساع	۲۷/۶۳	محاسبه شده
نسبت تنش تسلیم فشاری به کششی	۰/۸۵	محاسبه شده
تنش تسلیم فشاری (کیلوپاسکال)	۷۴/۲	محاسبه شده

در مرحله بارگذاری نیروی شتاب گرانش زمین بود در راستای محور Y بر تیغه و خاک اعمال شد. شرایط مرزی برای تیغه به گونه‌ای تعریف شد، که تیغه فقط آزادی حرکت در خلاف محور Z را داشته باشد. به عبارت دیگر همه جابه‌جایی‌ها در راستای محورهای X و Y و هرگونه چرخش حول هر سه محور مختصات، مهار شدند. تیغه علاوه بر مقید شدن از نظر

⁵- dynamic explicit

جابه‌جایی باید از نظر سرعت حرکت سطوح نیز مقید می‌گردد و فقط در خلاف جهت محور Z در سرعت‌های ۲، ۳ و ۵ کیلومتر بر ساعت قابلیت سرعت گرفتن می‌داشت. به منظور یافتن اندازه‌ی مناسب المان‌ها، فرایند استقلال اندازه‌ی المان بر نتایج شبیه‌سازی صورت گرفت و شش شبیه‌سازی با المان‌هایی با اندازه‌های مختلف برای مکعب خاکک پیشنهاد شد. نظر به اینکه انتخاب سرعت پیشروی و عمق کار در این مرحله از فرآیند شبیه‌سازی، تأثیری بر نتیجه‌ی نهائی که همان مشخص نمودن بهترین اندازه‌ی المان باشد را ندارد، لذا بدین منظور هر کدام از شبیه‌سازی‌ها با سرعت پیشروی سه کیلومتر بر ساعت و عمق کار ۲۰ سانتی‌متر مورد بررسی قرار گرفتند. بدیهی است که هر چه اندازه‌ی المان کوچکتر باشد نتایج حاصل از آن دارای دقت بالاتری خواهد بود اما هزینه‌ی شبیه‌سازی نیز افزایش پیدا می‌کند. در این پژوهش، برای المان بندی قسمتی از مکعب خاکک که با تیغه در ارتباط می‌باشد، از المان‌هایی با اندازه‌ی ۱۵ میلی‌متر استفاده شد. برای مش بندی مکعب خاکک و تیغه به ترتیب از بلوک‌های هشت گرهی (C3D8)^۶ (شکل ۲) و المان‌های مثلثی چهار گره‌ای (R3D4)^۷ استفاده شده است. سرانجام نیروهای وارد بر نقطه‌ی مرجع که بعنوان نقطه‌ی استقرار نوک تیغه در عمق خاکک می‌باشد، در طول مسیر مکعب خاکک، تعیین شده و به صورت داده‌های دو ستونی از نرم‌افزار استخراج و به فایل اکسل انتقال داده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به مقاومت کششی تیغه بدون باله بر اساس داده‌های مزرعه‌ای، در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس مقاومت کششی خاک‌ورز

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
تکرار	۲	۰/۰۰۱	۲/۳۳
عمق	۱	۰/۲۸۲	۳۰۵/۹۲۸**
سرعت	۱	۰/۰۳۴	۳۷/۰۱۲**
عمق × سرعت	۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۴ ^{ns}
خطا	۶	۰/۰۰۴	

** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح یک درصد و عدم معناداری را نشان می‌دهد.

^۶- 8.node linear brick continuum element

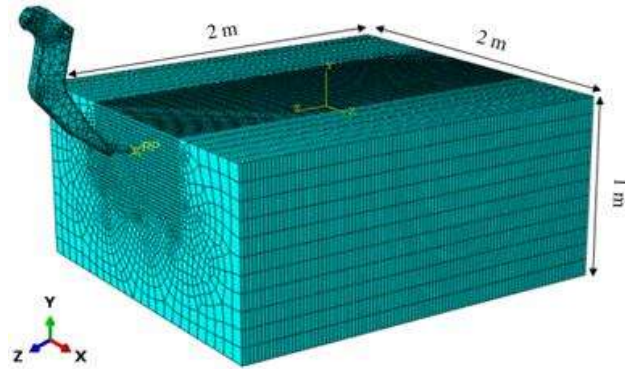
^۷- 4.node 3D bilinear rigid quadrilateral element

سیزدهمین کنگره ملی مهندسی
مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون
ایران



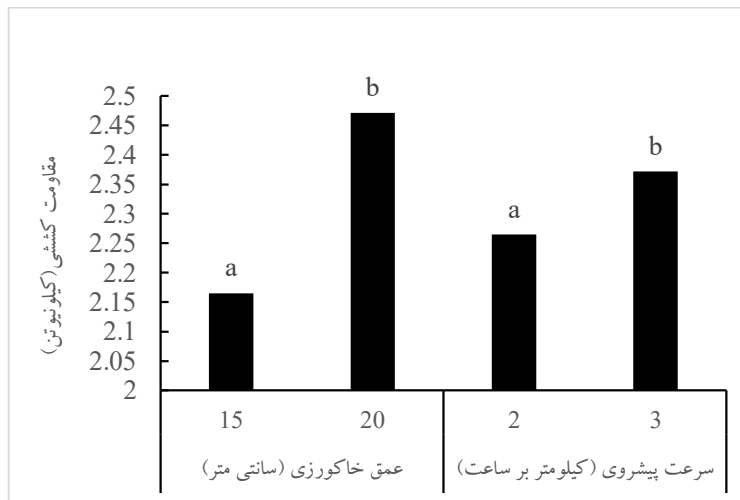
(مکانیک بیوسیستم ۱۴۰۰)

۲۴-۲۶ شهریور ۱۴۰۰



شکل ۲- مش بندی تیغه و مکعب خاک

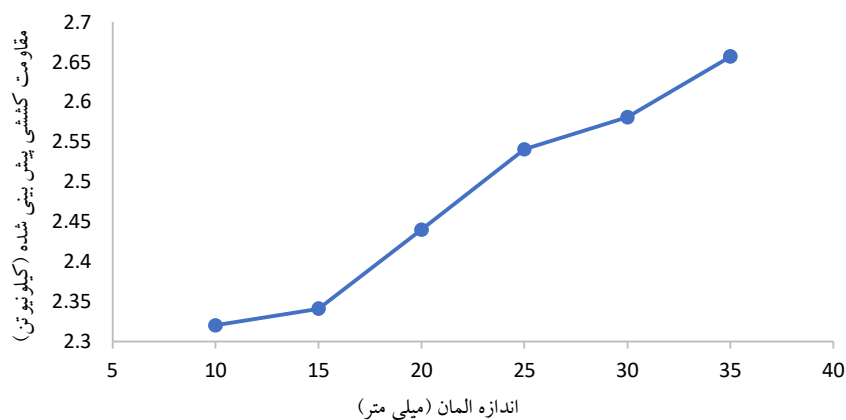
مطابق با نتایج جدول ۳ عمق خاک‌ورزی و سرعت پیشروی بر مقاومت کششی خاک‌ورز در سطح احتمال آماری یک درصد معنادار شده است ولی اثر متقابل عمق و سرعت پیشروی معنادار نیست. طبق شکل (۳) مقادیر میانگین مقاومت کششی خاک‌ورز در دو عمق شخم، دارای اختلاف معنادار است. بطوری که با افزایش عمق شخم، مقاومت کششی نیز افزایش یافت. مقایسه میانگین مقاومت کششی در دو سرعت پیشروی دارای اختلاف معنی دار می‌باشد. بطوری که با افزایش سرعت پیشروی، مقاومت کششی نیز افزایش می‌یابد (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین مقادیر مقاومت کششی تیغه بدون باله

مدت زمان انجام تحلیل ارتباط مستقیمی با مش بندی دارد. هر چه اندازه مش‌ها ریزتر باشد مدت زمان برای تحلیل طولانی‌تر می‌شود. برای بررسی تاثیر ریزی و درشتی المان‌های خاک بقیه عوامل ثابت نگه داشته می‌شود. مقدار اختلاف بین نیروهای

پیش‌بینی شده در شبیه‌سازی با انتخاب اندازه المان‌های ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر کمتر از یک درصد شد. بنابراین برای شبیه‌سازی برهمکنش خاک بر ابزار از المان با اندازه‌ی ۱۵ میلی‌متر استفاده شد (شکل ۴). به طور مشابه در تحقیقی تاثیر اندازه‌ی مش در روش FEM مورد مطالعه قرار گرفت. اندازه مش تاثیر مهمی در پیش‌بینی نیروها دارد به نحوی که با افزایش تعداد المان‌ها، مقدار نیروهای پیش‌بینی شده کاهش خواهد یافت [۴].



شکل ۴- تاثیر المان بندی بر نتایج حاصل از نرم افزار

روش المان محدود

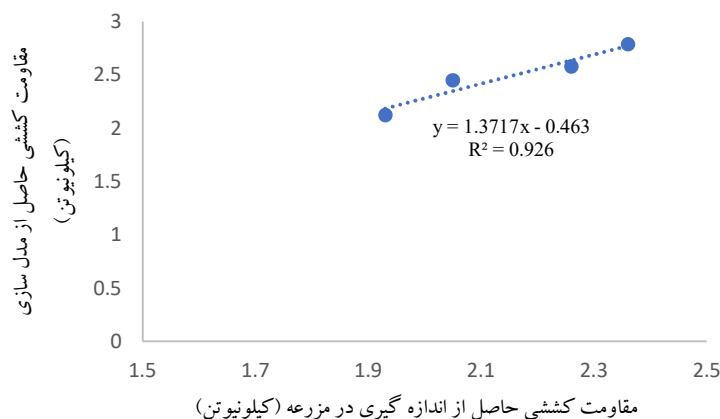
شکل ۵ نتایج مقاومت کششی پیش‌بینی شده به روش المان محدود در مقابل نیروی اندازه‌گیری شده در مزرعه برای خاک‌ورز با تیغه باریک جدید را نشان می‌دهد. ضریب تبیین (R^2) در رگرسیون بین نتایج تجربی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی برابر با ۰/۹۲ است. در واقع بیانگر این واقعیت است که نتایج حاصل از روش المان محدود هم پوشانی خوبی با نتایج حاصل از آزمون تجربی دارد. از طرف دیگر ضریب همبستگی (r) نتایج حاصل از روش المان محدود و نتایج تجربی ۰/۹۶ محاسبه گردید که نشانگر همبستگی و ارتباط بالای این دو گروه داده می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که روش المان محدود از دقت کافی برای شبیه‌سازی برهم‌کنش خاک بر ابزار خاک‌ورز و تعیین نیروی مقاومت کششی برخوردار است. نتایج حاصله منطبق بر تحقیق عظیمی نژادیان و همکاران [۸] می‌باشد.

سیزدهمین کنگره ملی مهندسی
مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون
ایران



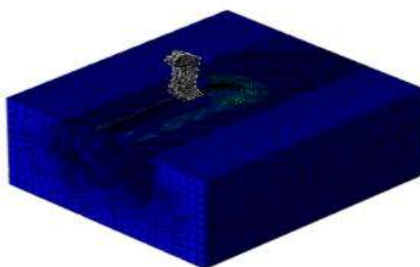
(مکانیک بیوسیستم ۱۴۰۰)

۲۴-۲۶ شهریور ۱۴۰۰



شکل ۵- نمودار داده‌های حاصل از اندازه‌گیری مزرعه‌ای در مقابل پیش‌بینی داده‌های نرم‌افزاری

با توجه به شکل ۴ (الف) در هنگام حرکت تیغه رو به جلو، بواسطه‌ی زاویه تمایل تیغه که آن را بصورت یک گوه‌ی دو طرفه شکل می‌دهد، اعمال توام فشار در راستای افقی و در راستای عمودی در خاک، موجب شکافته شدن و ایجاد شیار در خاک می‌گردد. شکل ۴ نمونه‌ای از فرآیند برش خاک شبیه‌سازی شده توسط تیغه باریک جدید در عمق ۰/۲ متر و سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت را نشان می‌دهد. شکل ۵ نیز نمونه‌ای از نیروی کششی استخراج شده در عمق ۰/۲ متر و سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت از نرم‌افزار را نشان می‌دهد.

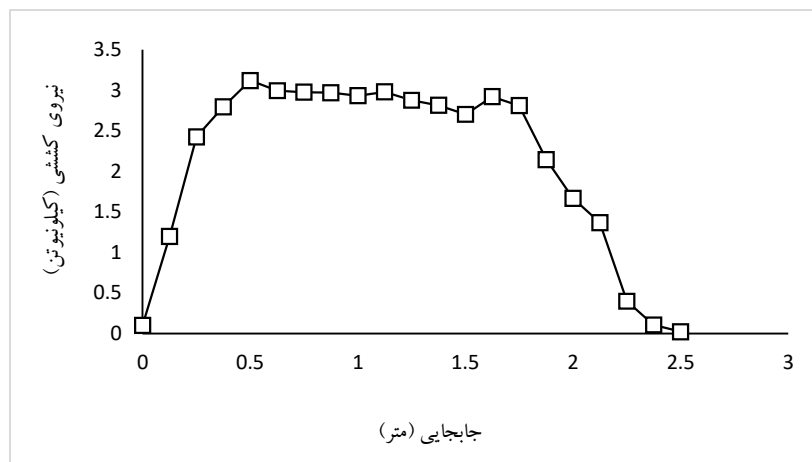


شکل ۴- روند برش خاک توسط تیغه به ترتیب در عمق شخم و سرعت ۰/۲ متر و ۳ کیلومتر در ساعت

نتیجه‌گیری

در این تحقیق روش اجزا محدود برای پیش‌بینی نیروی مقاومت کششی یک تیغه باریک جدید بدون باله مورد استفاده قرار گرفت. داده‌برداری‌های مزرعه‌ای به منظور صحت‌سنجی نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیز انجام شد. نتایج مقاومت کششی پیش‌بینی شده به روش المان محدود در مقابل نیروی مقاومت کششی در مزرعه برای خاک‌ورز با تیغه باریک رسم شد. ضریب

تبیین قابل قبولی (۰/۹۲) بین مقادیر مشاهده شد که نشان از دقت قابل قبول شبیه‌سازی است. همچنین نتایج نشان داد که اثر عمق و سرعت پیشروی روی مقاومت کششی ابزار خاکورز در سطح احتمال یک درصد معنادار است به طوری که با افزایش ۲۵ و ۳۳/۳۳ درصد در عمق خاکورزی و سرعت پیشروی مقدار نیروی کششی ابزار به ترتیب ۱۲/۵ و ۴/۶ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین نتایج این تحقیق نشان داد اثر عمق خاکورزی روی نیروی کششی ابزار خاکورز بیشتر از سرعت پیشروی است.



شکل ۵- روند تکامل نیروی کششی برای تیغه به ترتیب در عمق شخم و سرعت ۰/۲ متر و ۳ کیلومتر در ساعت

منابع

۱. صوری دمیرچی سفلی، ب.، کارپرورفرد، س. ح.، رنجبر کریم‌آبادی، ع.، عظیمی‌نژادیان، ه. و موذنی کلات، ع. (۱۴۰۰). اثر زاویه حمله بر عملکرد یک تیغه باریک تغییر یافته. مجله ماشین‌های کشاورزی، ۱۱(۲)، ۱۸۷-۱۹۷.
۲. لطیفی عموقین، م. و شاهقلی، غ. ح. (۱۳۹۹). بررسی اثر نسبت عمق به عرض و سرعت پیشروی تیغه باریک خاک‌ورزی روی نیروی کششی و مدل‌سازی آن به روش اجزاء محدود (پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی)، اردبیل، ایران.
۳. محمدی، م.، کارپرورفرد، س. ح.، کامگار، س. و رحمتیان، م. (۱۳۹۹). بهینه‌سازی و ارزیابی شرایط کاری تیغه خاک‌ورز جدید به منظور استفاده در خاک‌ورز مرکب. مجله ماشین‌های کشاورزی، ۱۰(۲)، ۲۷۳-۲۸۷.
4. Abo-Elnor, M., Hamilton, R., & Boyle, J. T. (2004). Simulation of soil-blade interaction for sandy soil using advanced 3D finite element analysis. *Soil and Tillage Research*, 75(1), 61-73.
5. Akbarnia, A., Mohammadi, A., Alimardani, R., & Farhani, F. (2014). Simulation of draft force of winged share tillage tool using artificial neural network model. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(4), 57-65.
6. Al-Suhaibani, S. A., & Ghaly, A. E. (2010). Effect of plowing depth of tillage and forward speed on the performance of a medium size chisel plow operating in a sandy soil. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(3), 247-255.
7. Armin, A., Fotouhi, R., & Szyzkowski, W. (2017). Experimental and finite element analysis for mechanics of soil-tool interaction. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 11(2), 433-439.
8. Azimi-Nejadian, H., Karparvarfard, S. H., Naderi-Boldaji, M., & Rahmanian-Koushaki, H. (2019).



سیزدهمین کنگره ملی مهندسی
مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون
ایران



(مکانیک بیوسیستم ۱۴۰۰)

۲۴-۲۶ شهریور ۱۴۰۰

- Combined finite element and statistical models for predicting force components on a cylindrical mouldboard plough. *Biosystems Engineering*, 186, 168-181.
9. Chirende, B., Li, J. Q., & Vheremu, W. (2019). Application of Finite Element Analysis in Modeling of Bionic Harrowing Discs. *Biomimetics*, 4(3), 61.
 10. Godwin, R. J. (2007). A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil and Tillage Research*, 97(2), 331-340.
 11. Ibrahmi, A., Bentaher, H., Hamza, E., Maalej, A., & Mouazen, A. M. (2017). 3D finite element simulation of the effect of mouldboard plough's design on both the energy consumption and the tillage quality. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90(1-4), 473-487.
 12. Indoria, A. K., Rao, C. S., Sharma, K. L., & Reddy, K. S. (2017). Conservation agriculture—a panacea to improve soil physical health. *Current science*, 52-61.
 13. Mouazen, A. M., & Ramon, H. (2002). A numerical–statistical hybrid modelling scheme for evaluation of draught requirements of a subsoiler cutting a sandy loam soil, as affected by moisture content, bulk density and depth. *Soil and Tillage Research*, 63(3-4), 155-165.
 14. Naderi-Boldaji, M., Alimardani, R., Hemmat, A., Sharifi, A., Keyhani, A., Tekeste, M. Z., & Keller, T. (2013). 3D finite element simulation of a single-tip horizontal penetrometer–soil interaction. Part I: Development of the model and evaluation of the model parameters. *Soil and Tillage Research*, 134, 153-162.
 15. Naderi-Boldaji, M., Hajian, A., Ghanbarian, D., & Bahrami, M. (2018). Finite element simulation of plate sinkage, confined and semi-confined compression tests: A comparison of the response to yield stress. *Soil and Tillage Research*, 179, 63-70.
 16. Singh, D., Mishra, A. K., Patra, S., Mariappan, S., & Singh, N. (2021). Near-saturated soil hydraulic conductivity and pore characteristics as influenced by conventional and conservation tillage practices in North-West Himalayan region, India. *International Soil and Water Conservation Research*.
 17. Tagar, A. A., Changying, J., Adamowski, J., Malard, J., Qi, C. S., Qishuo, D., & Abbasi, N. A. (2015). Finite element simulation of soil failure patterns under soil bin and field-testing conditions. *Soil and Tillage Research*, 145, 157-170.
 18. Zeng, Z., Thoms, D., Chen, Y., & Ma, X. (2021). Comparison of soil and corn residue cutting performance of different discs used for vertical tillage. *Scientific Reports*, 11(1), 1-10.



سیزدهمین کنگره ملی مهندسی
مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون
ایران
(مکانیک بیوسیستم ۱۴۰۰)



۲۴-۲۶ شهریور ۱۴۰۰

Numerical modeling of the draught force of a new narrow non-winged blade using finite element method

M. Arefi¹, S.H. Karparvarfard^{2*}, H. Azimi-Nejadian³

¹ MSc Student, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

² Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

³ PhD graduated of Biosystems Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Abstract

Accurate estimation of the amount of draught force required for conservation tillage implements is an important step for field machinery selection and management. The finite element method (FEM) is one of the numerical methods that is widely used to better understand the soil bulk movement and predict the forces acting on the tillage tools. The aim of this study is to model a new narrow non-winged blade using FEM. Some field tests were carried out to validate the simulation results. The predicted draught force was plotted against the measured draught force for the new narrow non-winged blade. A good coefficient of determination (0.92) was achieved between the values, which indicates an acceptable accuracy of the simulation. The results also showed that the influence of tillage depth and speed was significant at the level of probability of 1%, so that with an increase of 25 and 33.33% in tillage depth and speed the draught force increased 12.5 and 4.6%, respectively. Therefore, the results of this study showed that the effect of tillage depth on the draught force of this tillage tool is greater than the forward speed.

Keywords: Ploughing speed, Ploughing depth, Draught force, Finite element method

(* - Corresponding Author Email: karparvr@shirazu.ac.ir)



سیزدهمین کنگره ملی مهندسی
مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون
ایران

(مکانیک بیوسیستم ۱۴۰۰)

۲۴-۲۶ شهریور ۱۴۰۰

