



## شبیه سازی و تحلیل استاتیکی سه نوع ساقه زیر شکن در خاکهای مختلف به روش اجزاء محدود

محسن نعیمی<sup>۱</sup>، علی اکبر حسین پور<sup>۲</sup>، باقر عمادی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

emadi-b@ferdowsi.um.ac.ir

### چکیده

در پژوهش حاضر، به شبیه سازی و تحلیل استاتیکی و بررسی رفتار ماده تشکیل دهنده سه نوع ساقه L شکل، مایل و انحنادار (C شکل) زیر شکن با نرم افزار (سالیدورکس) و اجزاء محدود (انسیس) پرداخته شده است. پس از رسم مدل های سه بعدی به روش مهندسی معکوس در نرم افزار سالیدورکس و انتقال به نرم افزار انسیس و اعمال قیود و شرایط مرزی، بارگذاری بر روی مدل ها با توجه به انواع خاکها اعمال گردید. نتایج تحلیل استاتیکی برای هر سه نوع ساقه نشان داد که بیشترین تنش در محل اتصال ساقه ها به شاسی می باشد. مقدار ضریب اطمینان در تحلیل استاتیکی برای ساقه L شکل در سه نوع خاک شنی، شنی- لومی و لومی- شنی به ترتیب ۲۰/۰۵، ۱۴/۴۶ و ۹/۲۸، برای ساقه مایل به ترتیب ۱۱/۹۳، ۸/۶۸ و ۵/۵۴ و برای ساقه انحنادار (C شکل) به ترتیب ۷/۸۹، ۵/۶۳ و ۳/۶۳ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: زیر شکن، تحلیل استاتیکی، اجزاء محدود

### مقدمه

تلاش پیوسته بشر در جهت بهینه سازی ماشین های کشاورزی از جمله ماشینهای خاکورزی و نیز محافظت از خاکهای زراعی منجر به پژوهش ها و مطالعات زیادی شده است که در این باره توجه و اهتمام به تمام جنبه های درگیر با مسئله موردنظر را نیز می طلبد. در این خصوص، از جمله می توان به رفتار مکانیکی و دقت در طراحی ابزار اشاره کرد که توجه در این امر نه تنها باعث دوام و بهبود کیفیت ابزار می شود بلکه باعث تغییرات بسیاری از عوامل درگیر با کشاورزی در جهت بهبود عملکرد نیز خواهد شد (رفیعی، ۱۳۸۳). در بسیاری از مناطق، فشردگی خاکهای زراعی به عنوان آسیبی جدی برای اراضی کشاورزی محسوب می شود. گوریف (۱۹۹۴) اذعان نمود که لایه های سخت تولید شده در خاکهای زراعی بیشتر به علت فشار پاشنه های گاواهن برگردان دار و فشار چرخهای تراکتور خصوصاً در اراضی مرطوب می باشد (آنونیموس، ۱۹۸۷). از زیر شکن برای شکستن لایه غیر قابل نفوذ

خاک و کار در اعماق زیاد خاک، معمولاً از حدود ۵۰ تا ۹۰ سانتیمتر استفاده می‌شود. این وسیله به منظور بهتر شدن نفوذ آب در خاک، زهکشی و نفوذ ریشه به اعماق خاک به کار می‌رود و افزایش عملکرد محصول را در صورت استفاده صحیح از ۵۰ تا ۴۰۰٪ باعث می‌گردد. شاخه‌های زیرشکن در انواع مختلف مایل، راست و انحنادار می‌باشد که توان کششی مورد نیاز برای شاخه‌های مورب و انحنادار حدود ۲۵ درصد کمتر از شاخه‌های راست می‌باشد به عبارت دیگر شاخه‌های راست به نیروی کششی بیشتری نیاز دارند (منصوری راد، ۱۳۸۵). امروزه با به کارگیری فنون طراحی به کمک کامپیوتر می‌توان به مطالعه عواملی از قبیل نیروها، تنش‌ها، تغییرشکل و بهینه‌سازی شکل قطعات پرداخت و عملکرد سازه تحت بارهای استاتیکی را بسیار کارآمدتر و سریعتر از گذشته شبیه‌سازی و تحلیل کرد. نرم افزار انسیس (Ansys) یکی از ابزارهایی است که از روش اجزاء محدود برای تجزیه و تحلیل قطعات و مسائل مهندسی استفاده می‌کند (بشارتی گیوی، ۱۳۸۵). این روش می‌تواند مقداری از محدودیتهای روشهای تحلیلی را جبران نماید و حداقل توانسته به روش نظری توزیع تنش، عکس‌العمل بین خاک و ابزار و همچنین نیروی کششی را پیش‌بینی نماید (زکوی، ۱۳۸۶). موزن و نم‌نی (۱۹۹۹) یک تیغه زیرشکن را در خاک شنی-لومی غیر همگن با روش اجزاء محدود مورد تحلیل قرار دادند و نتایج این روش را با نتایج حاصل از زیرشکن در خاک مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که روش اجزاء محدود روشی مناسب برای مدل کردن و تحلیل ابزار در خاک می‌باشد (موزن و همکاران، ۱۹۹۹). در این پژوهش سه نوع ساقه زیرشکن شامل L شکل، مایل و خمیده (C شکل) با توجه به شرایط کاری متداول در سه نوع خاک لومی-شنی، شنی-لومی و شنی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق سه نوع خاک لومی-شنی، شنی-لومی و شنی که خصوصیات آنها مطابق جدول ۱ بوده در عمق‌های مختلف برای هر نوع خاک در نظر گرفته شد (عباسپور گیلانده و همکاران، ۱۳۸۶).

جدول ۱- طبقه بندی خاک های مزرعه آزمایشی و میانگین محتوای رطوبتی خاک در هنگام آزمایش

نوع خاک	درصد شن	درصد رس	میانگین درصد رطوبت خاک (بر پایه وزن خشک)	
			در عمق ۰-۶ cm	در عمق ۶-۱۰ cm
			شرایط مرطوب	شرایط خشک
لومی-شنی	۷۸/۳	۱۲/۵	۱۳/۵	۹/۹
شنی-لومی	۸۵/۵	۸/۹	۱۱/۶	۶/۷
شنی	۸۹/۵	۶/۳	۷/۶	۵/۳

سه نوع ساقه زیرشکن شامل L شکل، مایل و خمیده (C شکل) از جنس فولاد (St37) برای این تحقیق بکار گرفته شد که خصوصیات مکانیکی فولاد به کار رفته با فرض همگن بودن در جدول ۲ آمده است (ولی نژاد، ۱۳۸۴).

جدول ۲- مشخصات ماده فولاد به کار رفته (St37)

تنش تسلیم (MPa)	نسبت پواسون	مدول یانگ (GPa)	چگالی (Kg/m <sup>3</sup> )
۲۳۵	۰/۳	۲۰۰	۷۸۶۰

نیروی کششی وارد بر ساقه زیرشکن در عمق های مختلف خاک بر اساس استاندارد ASAE، مدل گارنر و همکاران، مدل شبکه عصبی ANN و همچنین آزمایشات مزرعه ای در شرایط رطوبتی و خاکهای مختلف در جداول ۳ تا ۵ آورده شده است (عباسپور گیلانده و همکاران، ۱۳۸۶).

جدول ۳- داده های بکار رفته برای نیروی کششی خاکورزی توسط مدل های شبکه عصبی و رگرسیونی در خاک شنی

مقادیر نیروی کششی برای یک زیرشکن دو ساقه در عمق مشخص (KN)			منابع داده	
۴۶cm	۳۸cm	۲۸cm		
۵/۷-۱۷/۱۰	۴/۷۱-۱۴/۳۱	-۱۰/۴۱ ۳/۴۷	داده های استاندارد ASAE	
۷/۶۶	۶/۰۶	۳/۳۷	داده های بدست آمده از شرایط مرطوب (M.C=%۷/۶)	
۱۰/۴۶	۸/۱۳	۵/۷۷	شرایط خشک (M.C=%۵/۳) آزمایشهای مزرعه ای برای خاک شنی	
۹/۱۰	۷/۰۰	۴/۳۸	داده های بدست آمده از مدل گارنر <sup>۱</sup> و همکاران برای خاک شنی	
۷/۷۴	۵/۷۶	۳/۳۴	داده های بدست آمده از مدل شرایط مرطوب (M.C=%۷/۶)	
۱۰/۲۱	۸/۱۸	۵/۶	شرایط خشک (M.C=%۷/۶) شبکه عصبی	

<sup>۱</sup> مدل ارائه شده توسط گارنر و همکاران (۱۹۸۷) به صورت  $y = -5.9 + 52.4x$  می باشد که در آن  $x$  عمق خاک ورزی بر حسب متر و  $y$  نیروی کششی مورد نیاز خاک ورزی بر حسب کیلو نیوتن می باشد. این مدل برای زیرشکن دارای ۴ ساقه ارائه شده و به منظور محاسبه نیروی کششی برای زیرشکن دو ساقه عدد بدست آمده باید تقسیم بر ۲ شود.

جدول ۴: داده های بکار رفته برای نیروی کششی خاک ورزی توسط مدل شبکه عصبی و مدل های رگرسیونی برای خاک شنی\_لومی

مقادیر نیروی کششی برای یک زیرشکن دو ساقه			منابع داده	
در عمق مشخص (KN)				
۴۶cm	۴۱cm	۲۸cm		
۷/۸۷-۲۶/۶۱	۷/۹۰-۲۳/۷۲	۵/۴-۱۶/۲	دامنه خاک با بافت متوسط (شنی لومی)	استاندارد ASAE
۱۲/۷۰	۱۲/۶۲	۶/۱۹	شرایط مرطوب <sup>۱</sup> (M.C=% ۱۱/۶)	داده های بدست آمده
۱۴/۱۷	۱۵/۵۸	۶/۹۳	شرایط خشک (M.C=% ۶/۷)	از آزمایشهای مزرعه ای برای خاک شنی_لومی
۱۳/۸۱	۱۱/۸۶	۶/۸۰	شرایط خشک خاک داتن (Dothan) شنی لومی (M.C=% ۷/۸۴)	داده های بدست آمده از مدل گارنر <sup>۲</sup> و همکاران برای خاک شنی
۱۴/۴۹	۱۱/۹۳	۵/۲۶	شرایط خشک خاک نورفولک (Norfolk) شنی لومی (M.C=% ۵/۹۱)	
۱۲/۵۸	۱۲/۵۶	۶/۱۰	شرایط مرطوب (M.C=% ۱۱/۶)	داده های بدست آمده از
۱۴/۰۲	۱۵/۵۰	۶/۸۸	شرایط خشک (M.C=% ۶/۷)	مدل شبکه عصبی

<sup>۱</sup>محتوی رطوبتی خاک بر پایه وزن خشک محاسبه شده است.

<sup>۲</sup>مدل ارائه شده توسط گارنر و همکاران (۱۹۸۷) برای خاک داتن (Dothan)-شنی لومی به صورت  $y = -18.2 + 102.6x$  می باشد که در آن  $x$  عمق خاک ورزی بر حسب متر و  $y$  نیروی کششی مورد نیاز خاک ورزی بر حسب کیلونیوتن می باشد. این مدلها برای زیرشکن دارای ۴ ساقه ارائه شده و به منظور محاسبه نیروی کششی برای زیرشکن دو ساقه عدد بدست آمده باید تقسیم بر ۲ شود.

برای مدل سازی از نرم افزار سالید ورکس (2005) و برای تحلیل از نرم افزار انسیس نسخه ۱۱ استفاده گردید و به دلیل نداشتن ابعاد طراحی و در اختیار ندادن این ابعاد توسط شرکت شخمیران پس از مراجعه از روش مهندسی معکوس استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا ابعاد مدل ها از روی نمونه های واقعی اندازه گیری شد و بعد از طراحی در نرم افزار سالید ورکس، وارد نرم افزار انسیس شد. در مرحله ی بعد خواص تشکیل دهنده ی مدل ها با توجه به جدول ۲ برای نرم افزار تعریف گردید. برای شبکه بندی مدل های طراحی شده از المان نوع Solid ۹۵ استفاده شد. تعداد المان ها و گره ها در شبکه بندی آزاد مطابق جدول ۶ می باشد.

جدول ۵: داده های بکار رفته برای نیروی کششی خاک ورزی توسط مدل شبکه عصبی و مدل های رگرسیونی برای خاک لومی\_شنی

مقادیر نیروی کششی برای یک زیرشکن دو ساقه در عمق مشخص (KN)			منابع داده	
۴۶cm	۳۰cm	۲۰cm		
۱۲/۶۷-۳۸/۰۲	۸/۲۶۵-۲۴/۷۹	۵/۵۱-۱۶/۵۳	دامنه خاک با بافت سنگین	استاندارد ASAE
۸/۸۷-۲۶/۶۱	۷/۹۰-۲۳/۷۲	۳/۸۵-۱۱/۵۷	دامنه خاک با بافت متوسط	
۲۰/۲۲	۹/۹۲	۵/۵۰	شرایط مرطوب (M.C=۱۳/۵)	داده های بدست آمده از آزمایشهای مزرعه ای برای خاک فوکی (لومی شنی)
۲۲/۵۶	۱۲/۰۰	۷/۱۸	شرایط خشک (M.C=۹/۹)	
۲۰/۱۷	۹/۷۸	۵/۳۱	شرایط مرطوب (M.C=۱۳/۵)	داده های بدست آمده از مدل شبکه عصبی
۲۲/۶۸	۱۲/۱۶	۷/۰۵	شرایط خشک (M.C=۹/۹)	
هیچ مدلی برای خاک لومی شنی توسط گارنر و همکاران ارائه نشده است.			داده های بدست آمده از مدل گارنر و همکاران برای خاک لومی شنی	

جدول ۶- تعداد گره و المان انواع ساقه

تعداد المان	تعداد گره	نوع ساقه
۷۴۲۵	۱۳۰۴۵	L شکل
۸۵۹۰	۱۴۷۲۵	مایل
۳۷۴۴	۷۰۱۸	خمیده

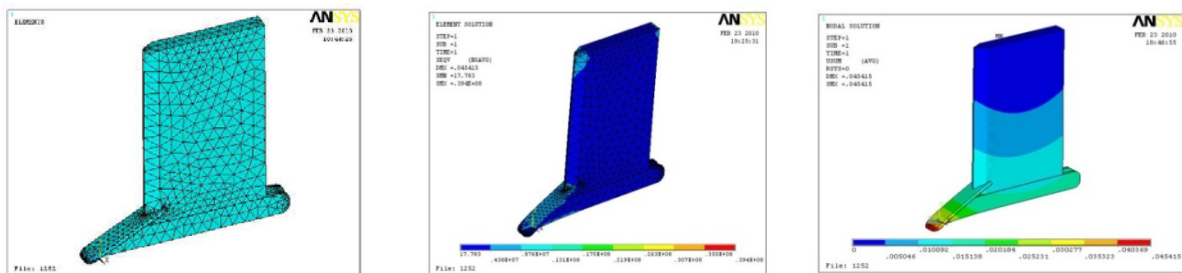
پس از شبکه بندی، شرایط مرزی بر روی قسمت بالای زیر شکن انجام گرفت و این قسمت در تمام جهات مقید گردید. در تحلیل استاتیکی بار وارده در بدترین حالت ممکن و به صورت گسترده بر روی سطوح تیغه و پیشانی اعمال شد و پس از انجام تحلیل، ماکزیمم جابجایی و مقادیر تنش های ماکزیمم و مینیمم وارد بر سه نوع زیرشکن بر اساس تئوری ون- میسز بدست آمد. لازم به ذکر است که مقادیر نیروهای کششی ذکر شده در جداول ۳ تا ۵ برای زیر شکن دو ساقه می باشد، برای وارد کردن مقدار بحرانی نیروی اعمالی بر زیر شکن تک ساقه در نرم افزار، این نیرو بر عدد ۲ تقسیم شد.

ضریب اطمینان برای تحلیل استاتیکی از تقسیم کردن تنش تسلیم بر حداکثر تنش واقع شده بر اساس بار اعمالی بر ساقه بدست آمد.

## نتایج و بحث

مقادیر تنش های حداکثر و حداقل وارد بر سه نوع زیرشکن در سه نوع خاک لومی- شنی، شنی، شنی- لومی و شنی بر اساس تئوری ون- میسر به دست آمد که در شکل های ۱ تا ۳ و جداول ۷ تا ۹ گزارش شده است. نتایج حاصل شده از تحلیل استاتیکی نشان می دهد که بیشترین تنش ایجاد شده در محل اتصال ساقه ها به شاسی می باشد و همچنین ماکزیمم جابجایی در قسمت تیغه ایجاد می شود.

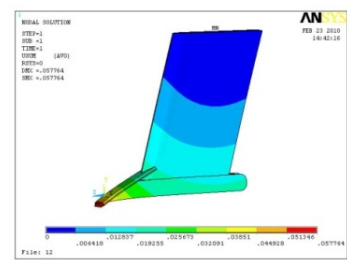
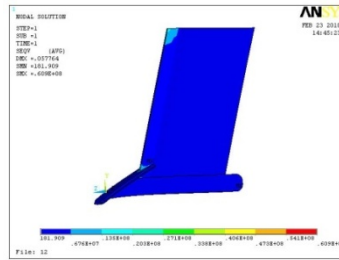
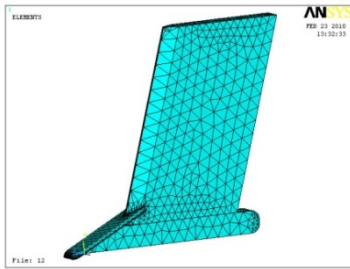
شکل ۱- زیرشکن راست (L شکل)، از چپ به راست: مدل شبکه بندی شده، توزیع تنش و توزیع جابجایی



جدول ۷- مقادیر تنش و جابجایی برای زیر شکن راست در خاکهای مختلف

نوع خاک	فشار اعمال شده از طرف خاک (Mpa)	حداکثر تنش (Mpa)	حداقل تنش (Mpa)	ماکزیمم جابجایی (mm)
شنی	۰/۱۶	۱۱/۷۲	$۰/۱۳ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۰۲
شنی- لومی	۰/۲۱	۱۶/۲۵	$۰/۱۸ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۰۶
لومی- شنی	۰/۳۴	۲۵/۳۳	$۰/۲۸ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۱۰

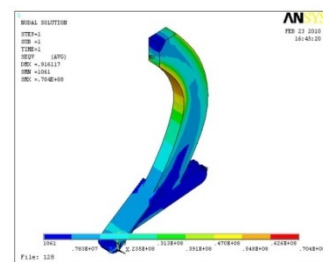
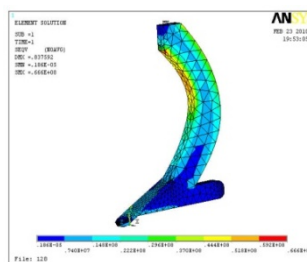
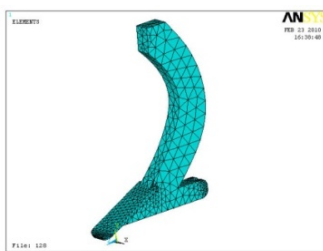
شکل ۲- زیرشکن مایل (مورب)، از چپ به راست: مدل شبکه بندی شده، توزیع تنش و توزیع جابجایی



جدول ۸- مقادیر تنش و جابجایی برای زیر شکن مایل (مورب) در خاکهای مختلف

نوع خاک	فشار اعمال شده از طرف خاک (Mpa)	حداکثر تنش (Mpa)	حداقل تنش (Mpa)	ماکزیمم جابجایی (mm)
شنی	۰/۱۶	۱۹/۶۹	$۰/۹۲ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۰۳
شنی - لومی	۰/۲۲	۲۷/۰۷	$۱/۳ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۰۴
لومی - شنی	۰/۳۵	۴۲/۴۵	$۲ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۰۶

شکل ۲- زیر شکن انحنادار (C شکل)، از چپ به راست: مدل شبکه بندی شده، توزیع تنش و توزیع جابجایی



جدول ۹- مقادیر تنش و جابجایی برای زیر شکن انحنا دار (C شکل) در خاکهای مختلف

نوع خاک	فشار اعمال شده از طرف خاک (Mpa)	حداکثر تنش (Mpa)	حداقل تنش (Mpa)	ماکزیمم جابجایی (mm)
شنی	۰/۱۸	۲۹/۷۹	$۰/۵۳ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۴۶
شنی - لومی	۰/۲۵	۴۱/۷۱	$۰/۷۴ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۶۴
لومی - شنی	۰/۳۸	۶۴/۷۰	$۱/۱۰ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۹۹

مقدار ضریب اطمینان بدست آمده در تحلیل استاتیکی برای ساقه L شکل در سه نوع خاک شنی، شنی- لومی و لومی- شنی به ترتیب ۲۰/۰۵، ۱۴/۴۶ و ۹/۲۸ می باشد و برای ساقه مایل در سه نوع خاک شنی، شنی- لومی و لومی- شنی به ترتیب ۱۱/۹۳، ۸/۶۸ و ۵/۵۴ می باشد و ضریب اطمینان برای ساقه انحنادار (C شکل) در سه نوع خاک شنی، شنی- لومی و لومی- شنی به ترتیب ۷/۸۹، ۵/۶۳ و ۳/۶۳ بدست آمد.

### نتیجه گیری

- نتایج بدست آمده از این پژوهش حاکی از آن است که حداکثر مقدار تنش در هر سه نوع زیرشکن در محل اتصال ساقه به شاسی رخ داده و ساقه انحنادار (C شکل) نسبت به دو نوع دیگر در معرض تنش بیشتری در محل اتصال ساقه به شاسی قرار دارد و همچنین ماکزیمم جابجایی ها در محل نوک تیغه حادث شد.
- نتایج نشان داد که حداکثر ضریب اطمینان در هر سه نوع ساقه در خاک شنی بدست می آید.

### منابع و مآخذ

- ۱-رفیعی، م. ۱۳۸۳. شبیه سازی و آنالیز مکانیکی دندان‌های هرس های رفت و برگشتی با کمک نرم افزار اجزاء محدود، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.
- ۲- منصورری راد، د. ۱۳۸۵. تراکتورها و ماشینهای کشاورزی، جلد ۱، انتشارات دانشگاه بوعلی همدان.
- ۳-بشارتی گیوی، م. ۱۳۸۵. مهندسی تولید و فناوری. جلد ۱. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۴- زکوی، م. ۱۳۸۶. مقدمه ای بر روش المان محدود در مهندسی، چاپ اول انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی.



- ۵-عباسپور گیلانده،ی. خلیلیان، ا. علیمردانی، ر. کیهانی، ع و ساداتی، س.ح.۱۳۸۶. پیش بینی نیروی کششی و انرژی خاک ورزی عملیات زیر شکنی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون مشهد، مقاله ۲۵۲.
- ۶- ولی نژاد، ع. ۱۳۸۴، جداول و استاندارد های طراحی و ماشین سازی، چاپ ۲۳، نشر طراح.

7- Anonymous, 1987. Ripping up hardpan without erosion. Alberta Report (January).

8- Mouazen, A.M. & M, Nemenyi. 1999. Finite Element Analysis of Subsoil cutting in Non-Homogeneous Sandy Loam Soil. Journal of Soil and Tillage Research. vol51. 1-15.

## **Abstract**

In the present study, the simulation, static analysis and behavior of constituting material of three types of subsoiler's stem including L shape, oblique and C shape were investigated. Two softwares of Solidworks and Ansys were applied. After drawing three-dimensional models using reverse engineering and transferring them from Solidworks to Ansys, they were loaded under a fixed amount of force in different types of soils. The simulation was conducted using defined boundary conditions and constraints. Static analysis for all three types of stem showed the highest stress at the junction of the stem to the chassis. Reliability coefficient for the static analysis of L shape's stem in the three types of soil were 20.05, 14.46 and 9.28 in sandy-soil, sandy-loam and loamy-sandy soils, respectively. It was 11.93, 8.67 and 5.54 for oblique shape and 7.89, 5.63 and 3.63 for C shape in the same order of soil types.

**Keywords:** Subsoiler, static analysis, finite element