

بررسی رفتار خاک متراکم شده طی آزمایش نشست صفحه ای با استفاده از روش اجزاء  
محدود و پردازش تصویر  
\*مجتبی جابری معز<sup>۱</sup>، دنیا اکبری<sup>۲</sup>

۱. هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا ([mitbjaberi@gmail.com](mailto:mitbjaberi@gmail.com))

۲. کارشناسی ارشد مهندسی بیوسیستم ([donya.akbari74@gmail.com](mailto:donya.akbari74@gmail.com))

#### چکیده

تراکم خاک به فرآیندی گفته می شود که سبب افزایش چگالی ظاهری خاک شده و موجب کاهش حجم و پیوستگی منافذ، کاهش نفوذپذیری آبی و هوایی خاک، افزایش مقاومت مکانیکی خاک و تغییر در پیکره خاک می شود. از پارامترهای مهم ارزیابی تراکم خاک، تنش پیش-تراکمی می باشد که اغلب به عنوان تنش در آستانه تراکم خاک، محسوب می شود. آزمون نشست صفحه ای، روشی مناسب برای تعیین تنش پیش تراکمی خاک می باشد. در این تحقیق، آزمون تجربی نشست صفحه ای، روی یک نمونه خاک زراعی (شنی رسی لومی) در سطح محتوای رطوبتی ۱۵% d.b. با چگالی  $1500 \text{ kg. m}^{-3}$  انجام شد و خواص مکانیکی خاک تعیین شدند. سپس آزمون نشست صفحه ای به روش اجزاء محدود به صورت دو بعدی و متقارن توسط در نرم افزار آباکوس شبیه سازی و تنش پیش تراکمی با این روش پیش بینی شد. همچنین میزان تغییرات تنش و جابجایی در لایه های عرضی و عمقی خاک زراعی تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که مدل دراگر-پراگر با ضریب تبیین ۹۹ درصد مطابقت خوبی با داده های به دست آمده از آزمایش تجربی داشت. بررسی توزیع تنش فشاری و جابجایی در لایه های مختلف در عمق خاک نشان داد که مقدار تنش و جابجایی در لایه های نزدیک به سطح بارگذاری بیشتر و با

پیشروی به سمت لایه‌های زیرین از مقدار تنش و جابجایی کاسته می‌شود؛ همچنین مقدار تنش در سطح هر لایه از خاک با فاصله گرفتن از مرکز صفحه بارگذاری کاهش یافت. همچنین در این پژوهش سعی شده است از تکنیک پردازش تصویر نرم افزار MATLAB به عنوان روشی برای تخمین میزان تراکم خاک استفاده شود. نتایج پردازش تصویر با نتایج حاصل از روش اجزاء محدود همخوانی دارد و هر دو، محدوده‌ی تراکم خاک را به خوبی نشان می‌دهند.

کلمات کلیدی:

پردازش تصویر، تراکم خاک، تنش پیش تراکمی، توزیع تنش، مدل دراگر پراگر، نشست صفحه‌ای

\*مجتبی جابری معز

## شبیه‌سازی رفتار تراکم خاک زراعی طی آزمون نشست صفحه ای با مدل دراگر پراگر و تکنیک پردازش تصویر

مقدمه

تراکم خاک به دلیل افزایش اندازه و وزن ماشین آلاتی که به طور روتین برای کارهای کشاورزی استفاده می‌شود، در کشاورزی مدرن یکی از نگرانی‌های مهم محسوب می‌شود. بیشتر قسمت‌های بزرگی از تجهیزات امروزه که در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند به دلیل اندازه و وزنشان، توانایی فشرده‌سازی خاک در لایه‌های عمیق‌تر را دارند. چندین سال پیش، تراکم نسبتاً کم عمق بود زیرا تجهیزات مزرعه وزن کمتری داشت و بسیاری از محصولات پوششی به تناوب رشد می‌کردند [۱۰]. برخی از شاخص‌های تراکم خاک شامل مقاومت خاک، شاخص مخروط (CI)، تخلخل، میزان رطوبت بر بسیاری از عملکردهای مهم خاک از جمله رشد و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارند [۶]، [۱۴]. تراکم خاک به عنوان مشکلی پیچیده و چندبعدی تحت تأثیر متقابل عوامل مختلف خاک، ماشین، گیاه و اقلیم شناخته می‌شود که دارای آثار قابل توجه اقتصادی و زیست محیطی و به عنوان یک معضل در برابر کشاورزی پایدار است. تجهیزات سنگین کشاورزی پتانسیل این را دارند که باعث افزایش شدید تراکم خاک شوند [۳۵].

شدت، عمق و مکان پیدایش تراکم در خاک به فشار در سطح تماس وسیله با خاک، مقدار وزن بر محور تراکتور، فشار باد لاستیک، نوع ادوات و سرعت و تعداد تردد ماشین‌ها بستگی دارد [۳۳]. تراکم خاک با ایجاد لایه سخت در زیر خاک، منجر به کاهش رشد ریشه و دسترسی به مواد مغذی، ایجاد روان آب و تخریب مواد آلی خاک به وسیله آب‌شویی و همچنین از بین رفتن میکروارگانیسم‌های خاک با کاهش تخلخل خاک (هوادهی به خاک و ریشه) می‌شوند که این عوامل منجر به افت عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی کشت شده می‌شوند. همچنین تراکم خاک با ایجاد لایه‌های سخت و متراکم در زیر بستر خاک سبب افزایش مقاومت کششی ادوات خاک‌ورزی و کاشت شده که منجر به افزایش استهلاک و فرسایش این ادوات و افزایش مصرف سوخت می‌شود.

تراکم خاک هنگامی اتفاق می‌افتد که تنش وارد شده توسط یک بار خارجی (به‌عنوان مثال با استفاده از تایر) مقاومت فشاری خاک را بیش از حد بالا ببرد. مقاومت خاک در ارتباط با تراکم به‌طور معمول با تنش پیش تراکمی خاک بیان می‌شود. فرض می‌شود تغییر شکل خاک تا زمانی که تنش وارده کمتر از تنش پیش تراکمی باشد کشسان و قابل برگشت است و در صورتی که از تنش پیش تراکمی فراتر رود پلاستیک و دائمی می‌باشد [۸]، [۲۲]. مقاومت خاک به میزان قابل توجهی توسط محتوای آب خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین افزایش بازه‌ی زمانی اعمال تنش به خاک توسط ماشین‌آلات متناسب با محتوای آب خاک، یک استراتژی خوب برای اینکه خاک کمتر آسیب ببیند است [۷]. حداکثر تنشی که

خاک می تواند تحمل کند بدون اینکه ساختار فیزیکی خاک دچار آسیب شود، تنش پیش - تراکمی نام دارد. ویژگی های مکانیکی خاک در تعیین حدود تنش مجاز برای جلوگیری از تراکم خاک، مهم می باشند. یکی از پارامترهای مهم، تنش پیش - تراکمی می باشد که اغلب به عنوان معیاری برای تراکم پذیری خاک استفاده می شود [۲۰]. تنش پیش تراکمی به عنوان معیاری از مقاومت خاک جهت پایدار نگهداشتن بافت و ساختمان آن در برابر نیروهای داخلی و خارجی مورد استفاده قرار می گیرد [۱۳]. هدف اصلی از به دست آوردن تنش پیش تراکمی، تعیین ظرفیت باربری خاک یا تنش در آستانه تراکم خاک است تا با محدود نمودن اعمال فشار به خاک در اثر تردد ماشین آلات در سطح مزرعه، خطر تراکم خاک یا تغییر شکل ماندگار آن به حداقل برسد [۲۸]. آزمایش نشست صفحه ای (PST)<sup>۱</sup> یکی از روش های اندازه گیری تنش پیش تراکمی خاک است ([۳۷]، [۱۱]، [۳]). طی آزمایش نشست صفحه ای، روی سطح خاکی که درون یک ظرف محصور شده توسط یک صفحه، بارگذاری عمودی انجام می شود و نیرو وارد به سطح خاک و جابجایی عمودی صفحه بارگذاری اندازه گیری و ثبت می شوند، در پایان نمودار تنش-نشست رسم می گردد که رفتار خاک در برابر تنش های عمودی اعمالی به خاک را نشان می دهد [۲۸]. عملیات خاک ورزی از دیدگاه مدیریت خاک و تولید محصول همیشه مورد توجه محققان قرار گرفته است و تلاش شده تا ماشین آلات کشاورزی به گونه ای طراحی شوند تا با حداقل کردن تعداد تردد آنها در مزرعه تا حد امکان از تراکم و تخریب خاک جلوگیری شود و همچنین مصرف سوخت و انرژی را نیز بهینه کرد. از جمله کارهای صورت گرفته در این مورد می توان به توسعه روش های خاک ورزی حفاظتی و کشت بذر به صورت مستقیم به شیوه های کم خاک ورزی و بی خاک-ورزی اشاره کرد [۲۹]. بهینه سازی ماشین های کشاورزی و بررسی تأثیر آنها بر تراکم خاک، مستلزم انجام آزمون های فراوانی است که انجام آنها نیازمند صرف زمان و هزینه های زیادی می باشد.

روش اجزای محدود یک روش محاسباتی برای حل تقریبی مسائل مقدار مرزی به کمک معادلات دیفرانسیلی در مهندسی است. شبیه سازی عددی فرآیند تراکم خاک می تواند به درک پدیده شناختی عوامل اثرگذار بر تراکم خاک کمک کند و همچنین جایگزینی مناسب برای بهینه سازی ماشین ها و ابزارهای کشاورزی جهت جلوگیری از تراکم خاک باشند. بنابراین شبیه سازی به کمک رایانه با حذف آزمایش های مزرعه ای پرهزینه و کاهش زمان تحقیق، مدل های مناسبی را در اختیار محققان و طراحان حوزه ماشین های کشاورزی قرار می دهند [۳۵]. به هنگام شبیه سازی فرآیند تراکم خاک به کمک روش های عددی می توان تأثیر عوامل مختلف را بر تغییر ساختار و رفتار تنش-کرنش خاک در تمامی زمان های بارگذاری یا باربرداری در هر ناحیه از خاک را با دقت بیشتری مطالعه نمود که این امر کمک زیادی به درک اثر این عوامل بر رفتار خاک دارد. همچنین به کمک این روش ها می توان نیروهای وارده بر ابزارهای کشاورزی و ناحیه گسیختگی خاک به وسیله این ابزارها را پیش بینی و شکل هندسی و چیدمان آنها روی ماشین را بهینه کرد [۳۶].

در تحلیل های عددی، مدل مورد استفاده به عنوان معیار تسلیم، خواص مواد، شرایط بارگذاری و مرزی و نوع و تعداد المان ها از اصلی ترین عوامل تأثیرگذار بر نتایج خروجی تحلیل است. معیار تسلیم درآگر پراگر یکی از مدل های رفتاری پر کاربرد در شبیه سازی مواد دانه ای مانند ماسه، سنگ و خاک و موادی که مقاومت فشاری آنها تحت بارگذاری فشاری افزایش می یابند، مناسب است [۳۸]. سطح گسیختگی ارائه شده در مدل درآگر-پراگر تقریبی از معیار موهر-کلمب است که توسط درآگر-پراگر به عنوان

<sup>۱</sup>Plate Sinkage Test

اصلاحی بر معیار ون میسر جهت تأثیر تنش هیدرو استاتیک در تسلیم منظور گردید [۹]. طی تحقیقی، آزمون‌های فشاری تک‌محوری محصور، نیمه‌محصور و نشست صفحه‌ای خاک با روش اجزا محدود شبیه‌سازی شد، در این تحقیق خاک به صورت ماده‌ای با رفتار الاستیک-پلاستیک (کشسان-خمیری) مدل‌سازی شد و گزارش شد که با افزایش مدول الاستیسیته و نسبت پواسون خاک، تنش پیش-تراکمی نقطه بیشینه انحناء افزایش یافت، در حالی که افزایش زاویه اصطکاک داخلی دراگر-پراگر و سرعت نفوذ پروپ بارگذاری تأثیر معنی‌داری در مقدار تنش پیش‌تراکمی نقطه بیشینه انحناء نداشت [۲۸]. در تحقیقی دیگر، مدل نشست صفحه‌ای خاک به صورت ماده الاستوپلاستیک از طریق روش اجزا محدود به صورت بارگذاری تکراری شبیه‌سازی شد که نتایج نشان داد روش اجزای محدود می‌تواند رفتار نشست خاک را طی بارگذاری‌های تکراری نسبتاً دقیق بیان کند [۳۰]. طی تحقیقی، رفتار تنش-نشست خاک لومی رسی به روش اجزاء محدود شبیه‌سازی شد. در این تحقیق رفتار خاک ویسکوالاستیک خطی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که روش المان محدود می‌تواند جهت شبیه‌سازی رفتار تنش-نشست استفاده شود [۱۵]. طی یک پژوهش، رفتار تراکم خاک زیر تایلر تراکتور با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه مدل‌سازی و تأثیر رطوبت، سرعت پیشروی و عمق در آن بررسی شد و مشاهده شد که شبکه عصبی با دقت بالایی توانست تراکم خاک را تخمین بزند، نتایج نشان داد تراکم خاک با عمق رابطه معکوس دارد و افزایش محتوای رطوبتی خاک سبب کاهش ظرفیت باربری خاک می‌شود [۳۲]. در تحقیقی، رفتار تراکمی و توزیع تنش در خاک در اثر تردد ماشین‌های برداشت نیشکر در مزرعه توسط مدل دراگر پراگر اصلاح شده به صورت دو بعدی شبیه‌سازی شد، نتایج نشان داد، عبور ماشین‌های برداشت نیشکر می‌تواند تنش‌های بیشتر از تنش پیش‌تراکمی خاک را تا عمق یک متری به خاک اعمال کند [۱۷]. توزیع تنش در عرض تحت تأثیر بار محوری ناشی از بار وارد از طرف چرخ ماشین‌ها و ادوات کشاورزی، موضوع تحقیق بسیاری از محققان بوده است. برخی از این محققان توزیع تنش در عرض ناشی از بار محوری را به صورت تجربی مورد بررسی قرار داده‌اند ([۱۸]، [۲۴]، [۳۱]). ولی برخی دیگر برای بررسی توزیع تنش در خاک تحت اثر بار محوری با استفاده از مدل‌های اجزاء محدود انجام داده‌اند [۱۸].

در این تحقیق از روش پردازش تصویر برای تعیین میزان فشردگی خاک استفاده شد. زیرا علاوه بر سادگی اجرای آن، نسبت به روش‌های دیگر دقت بسیار خوبی نیز دارد. پردازش تصاویر یکی از روش‌های جدید و بسیار قدرتمند در علم الکترونیک است. این روش پیش از این نیز در مطالعات متعددی در زمینه‌های مختلف، بسیار موثر بوده است [۱۲]. به طور کلی هر سیستم بینایی ماشین شامل قسمت‌های دوربین عکسبرداری و نورپردازی، مبدل و تصاویر، تحلیل گر، نرم افزار تجزیه و تحلیل تصاویر و عملگرها و نمایشگرها می‌باشد [۱۲]. کرنش موضعی در آزمایش سه محوری خاک، یکی از مسائلی است که نظر محققان را به خود جلب کرده است. در تحقیقی توسط [۴] از پردازش دیجیتال تصاویر برای اندازه‌گیری کرنش‌های موضعی استفاده شد. نتایج نشان داد پردازش دیجیتال تصاویر روش بسیار قدرتمندی در اندازه‌گیری دقیق تغییر شکل‌های موضعی در مصالح دانه‌ای است. در مطالعه‌ای توسط [۲۳] توزیع تنش در خاک و اثر فشردگی بر روی تخلخل خاک تحت آزمون فشردگی نیمه محصور با استفاده از عکس-برداری اشعه ایکس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که توزیع تنش در خاک، شدیداً به مقدار تنش وارده به خاک و استحکام اجزاء خاک وابسته است.

با توجه اهمیت تنش پیش تراکمی، شبیه‌سازی و درک رفتار تراکمی خاک‌های زراعی، هدف از انجام این پژوهش: ۱- شبیه‌سازی خاک طی آزمون نشست صفحه‌ای به کمک روش اجزاء محدود ۲- تخمین تنش پیش تراکمی خاک با استفاده از روش المان محدود و مقایسه نتایج آن با آزمایش تجربی ۳- تعیین سطح فشردگی خاک با استفاده از تکنیک پردازش تصویر و مقایسه آن با روش اجزاء محدود بودند.

## مواد و روش‌ها

### روش تهیه نمونه خاک

به منظور انجام آزمایش‌های تجربی این پژوهش، از خاک مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا همدان، در عمق صفر تا ۲۰ cm استفاده شد. بافت خاک مورد مطالعه از نوع شنی رسی لومی بود که ویژگی‌های فیزیکی آن در جدول آورده شده است. مقداری از خاک تهیه شده در یک ظرف استوانه‌ای شکل با قطر ۲۰ cm و ارتفاع ۱۲ cm ریخته شد و چگالی ظاهری آن تعیین شد که مقدار آن برابر با  $1500 \text{ kg.m}^{-3}$  بود. سپس مطابق با استاندارد ASTM D 2216 درصد رطوبت خاک با قرار دادن ۱۵۰ g از نمونه خاک مورد آزمایش درون یک آون در دمای  $110 \pm 5$  درجه سلسیوس به مدت ۱۶ ساعت تعیین شد و مقدار آب مورد نیاز برای رساندن رطوبت نمونه‌ها به سطح رطوبت وزنی مورد آزمایش  $15\% \text{ d.b.}$  محاسبه شد، سپس خاک مرطوب با افشان کردن آب به طور یکنواخت تهیه گردید. مقدار آب لازم پس از محاسبه، به خاک توسط یک آب پاش به صورت افشان بر خاک پاشیده و خاک مرطوب به هم زده شد تا رطوبت به طور یکنواخت در تمامی قسمت‌های آن پخش شود [۱۶]. سپس خاک مرطوب به صورت لایه لایه (۶ لایه ۲ cm) در ظرف ریخته شد تا فشردگی یکنواختی به دست آید و بین تمامی لایه‌ها یک لایه نازک گچ ریخته شد. در هر لایه با ضربه‌های آهسته خاک فشرده گردید تا چگالی ظاهری خاک به مقدار  $1500 \text{ kg.m}^{-3}$  رسانده شد. پیش از اضافه کردن لایه جدید، شیارهایی در سطح لایه پیشین ایجاد شد تا پیوستگی بین لایه‌ها ایجاد شود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد آزمایش

درصد وزنی			بافت خاک soil pattern
Weight percentage			
رس	سیلت	ماسه	
Clay	Silt	Sand	
25.8	27.28	46.82	شنی رسی لومی Sandy clay loam

### روش آزمایش نشست صفحه‌ای

جهت انجام آزمایش نشست صفحه‌ای، بارگذاری بر سطح خاک با استفاده از یک صفحه فلزی با قطر 5cm وضخامت 16mm با دستگاه CBR<sup>2</sup> با سرعت 1mm.min<sup>-1</sup> انجام شد [۱۶]. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، طی آزمایش نشست صفحه‌ای، صفحه بارگذاری در مرکز ظرف استوانه‌ای نمونه خاک قرار گرفت. به ازای هر یک میلی‌متر نشست، مقدار نیرو وارده بر نمونه توسط نیروسنج فشاری S شکل با ظرفیت 1 ton در کلاس دقت C3 ثبت می‌شد و نمودار نیرو-جابجایی رسم می‌گردید. نشست 20mm به‌عنوان پایان آزمایش در نظر گرفته شد. به منظور تعیین ضریب پواسون و مدول یانگ از آزمایش فشرده‌گی تک محوری استفاده شد. مقدار چسبندگی و ضریب اصطکاک داخلی خاک نیز از آزمون برش مستقیم به دست آمدند.



شکل ۱-نمایی از نیروسنج و صفحه بارگذاری طی آزمون نشست صفحه‌ای خاک

#### تعیین تنش پیش-تراکمی خاک

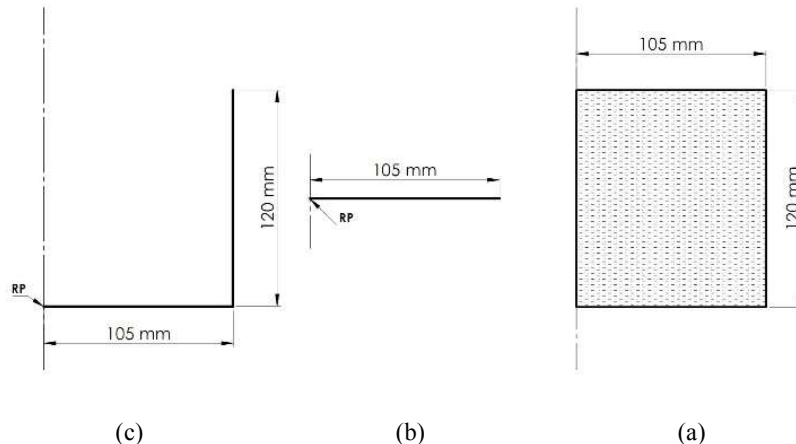
تنش پیش تراکمی، با استفاده از روش ارائه شده توسط الکساندرو و ارل (۱۹۹۵) با استفاده از داده-های نمودار تنش-نشست حاصل از آزمایش نشست صفحه‌ای خاک تعیین شد. در این روش، نقطه تقاطع دو خط مماس بر منحنی تنش-نشست، تنش پیش تراکمی را نشان می‌دهد. بدین منظور یک خط مماس بر منحنی تنش-نشست، از مبدأ و خط دیگر، مماس بر قسمت انتهایی منحنی رسم شدند، از نقطه تقاطع این دو خط تنش پیش تراکمی به دست آمد [۲].

#### شبیه‌سازی آزمایش نشست صفحه‌ای به روش اجزاء محدود

به منظور شبیه‌سازی آزمون نشست صفحه‌ای از نرم‌افزار آباکوس ورژن ۶.۱۴ استفاده شد. بدین منظور، خاک به صورت یک جسم تغییر شکل پذیر به صورت دو بعدی (یک مستطیل) و متقارن با ارتفاع 120 mm و عرض 105 mm (چون بارگذاری و شرایط مرزی متقارن بودند به منظور ساده‌سازی نیمی از خاک مدل شد و سپس نتایج به کل هندسه خاک تعمیم داده شد)، صفحه بارگذاری به صورت یک جسم صلب با عرض 25 mm و ظرف حاوی خاک نیز به صورت جسم صلب به ارتفاع 120 mm و عرض 105 mm

<sup>2</sup>California Bearing Ratio

در نرم افزار آباکوس مدل شدند. شکل ۲ مدل خاک، صفحه بارگذاری و ظرف حاوی خاک طراحی شده در نرم افزار آباکوس را نشان می دهد.



شکل ۲- مدل های طراحی شده در نرم افزار آباکوس: (a) خاک، (b) صفحه بارگذاری و (c) ظرف حاوی خاک

### خصوصیات خاک مورد مطالعه

در این تحقیق جهت شبیه سازی آزمون نشست صفحه ای از مدل دراکر-پراگر خطی به عنوان معیار گسیختگی خاک استفاده شد. تابع تسلیم دارکر-پراگر خطی در رابطه (۱) آورده شده است [۲۵].

$$F = t - p \tan(\beta) - d = 0 \quad (1)$$

در رابطه (۱)، تنش انحرافی  $p$  (Pa)، تنش متوسط،  $\beta$  زاویه تابع تسلیم خطی در صفحه تنش  $p-t$  و  $d$  عرض از مبدأ خط تابع تسلیم در صفحه تنش  $p-t$  هستند.  $\beta$  و  $d$  به ترتیب شبیه به زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی در معیار تسلیم موهر-کلمب هستند. مقدار  $t$  و  $p$  به ترتیب از روابط (۲) و (۳) تعیین می-شوند [۱].

$$t = \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{1}{2}q \left[ 1 + \frac{1}{k} - \left(1 - \frac{1}{k}\right) \left(\frac{r}{q}\right)^3 \right] \quad (2)$$

$$p = \frac{1}{3}(\sigma_1 + 2\sigma_3) \quad (3)$$



در روابط (۲) و (۳)،  $\sigma_1$  بیشینه تنش اصلی،  $\sigma_3$  کمینه تنش اصلی،  $q$  تنش متوسط ون میسر،  $\tau$  نامتغیر تنش سوم و  $k$  نسبت جریان تنش یا نسبت تنش تسلیم در کشش سه محوری به تنش تسلیم در فشار سه محوری هستند. خصوصیات خاک مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- خصوصیات مکانیکی خاک مورد آزمایش

چسبندگی	رطوبت	چگالی	مدول الاستیسیته Elastic Modulus	ضریب پواسون Poissons ratio	نسبت جریان تنش Flow stress ratio	زاویه اصطکاک داخلی Internal friction angle	زاویه آماس Dilation angle
Adhesion	Moisture	Density	1100 kPa	0.3	0.78	36°	14°

با داشتن زاویه اصطکاک داخلی خاک ( $\Phi$ ) و چسبندگی خاک ( $C$ ) در مدل موهر کلمب، مقادیر  $k$ ،  $\beta$  و  $d$  به ترتیب از روابط (۴) تا (۶) محاسبه شدند.

$$k = \frac{3 - \sin \Phi}{3 + \sin \Phi} \quad (۳)$$

$$\tan \beta = \frac{6 \sin \Phi}{3 - \sin \Phi} \quad (۵)$$

$$d = c \frac{\cos \Phi}{3 - \sin \Phi} \quad (۶)$$

زاویه آماس ( $\psi$ ) جهت جریان پلاستیک بعد از گسیختگی را تعیین می کند. زمانی که این زاویه برابر با زاویه اصطکاک داخلی ( $\beta$ ) باشد جهت جریان پلاستیک عمود بر سطح گسیختگی می باشد که این حالت قانون جریان پلاستیک وابسته نامیده می شود. برای جریان های غیر وابسته، رابطه زاویه آماس با اصطکاک داخلی مدل موهر - کلمب به صورت رابطه (۷) بیان می شود [۲۶].

$$\Phi = \Phi_{cv} + \psi \quad (۷)$$

در رابطه (۷)،  $\Phi_{cv}$  ثابت حجم زاویه اصطکاک داخلی برای مواد دانه ای نرم است. مقدار آن برای مدل های اجزا محدود بر اساس مشاهداتی که برای شن و سیلیکا دیده شد برابر با ۳۳ درجه در نظر گرفته شد [۲۷]. رفتار سخت شدگی فشاری برای خاک مورد نظر از آزمایش سه محوری به دست آمد به نحوی که کرنش پلاستیک در مقابل تنش تسلیم در نقاط مختلف محاسبه شد و رفتار سخت شدگی فشاری در نرم افزار آباکوس تعریف شد.

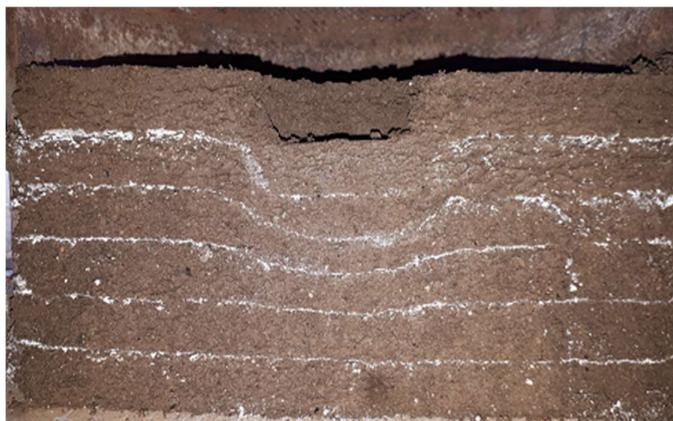
#### شرایط مرزی و مش بندی

جهت شبیه سازی مرحله بارگذاری طی آزمون نشست صفحه ای خاک از روش دینامیک صریح استفاده شد. به منظور اعمال بار به خاک، صفحه بارگذاری با سرعت ثابت  $1 \text{ mm.min}^{-1}$  در جهت محور  $y$  به

مقدار ۲۰mm در جهت محور y به سمت پایین جابجا شد. صفحه بارگذاری فقط می تواند در جهت محور y حرکت کند و در سایر جهات مقید شده بود و درجات آزادی ظرف حاوی خاک در تمامی جهت مقید شد. گره های مرکزی خاک در نقاط  $x=0$  بر روی محور y در جهت محور x مقید شدند و دوران آنها در جهت محور y بسته شد. گره های پایینی و زیرین خاک در نقاط  $y=0$  بر روی محور x حرکتی ندارند اما در جهت محور y می توانند دوران کنند. همچنین زاویه اصطکاک بین گره های خاک در تماس با ظرف حاوی خاک و صفحه بارگذاری برابر با ۲۰ درجه در نظر گرفته شد. در این پژوهش، از روش مش ساختاریافته برای مش بندی محیط خاک با استفاده از المان های آجری خطی متقارن چهار گره ای (CAX4R) برای مش بندی خاک انتخاب شد. در نهایت ۵۵۰ المان برای شبیه سازی خاک استفاده شد.

تعیین سطح فشردگی خاک با استفاده از تکنیک پردازش تصویر

به منظور تشخیص میزان فشردگی خاک در آزمون نشست صفحه ای از تکنیک پردازش تصویر نرم افزار متلب استفاده شد. بدین منظور نمونه خاک پس از بارگذاری، توسط یک ورقه آهنی به دو نیمه مساوی برش زده شد. با استفاده از یک دوربین دیجیتال از تمام مراحل خشک شدن نمونه خاک در فواصل معین عکس برداری شد. برای تامین یکنواختی نور در هنگام تصویربرداری، از محفظه ی تصویربرداری مجهز به لامپ LED در چهار طرف محفظه استفاده گردید. پس از آزمون و خطا و ارزیابی چشمی تصاویر، میزان شدت نور محیط تصویربرداری تنظیم گردید. دوربین در فاصله ۲۵cm در بالای نمونه، داخل محفظه ی تصویربرداری نصب شد تا تصاویر واضحی از نمونه های خاک به دست آید. تصاویر گرفته شده از نمونه به رایانه منتقل گردید. پس از فراخوانی تصویر در محیط کاری نرم افزار متلب به منظور یافتن خطوط گچی در تصویر، حدود آستانه بر روی آن اعمال گردید. پس انجام مراحل پیش پردازش و اعمال فیلترهایی بر روی تصویر، خروجی از نرم افزار گرفته شد.

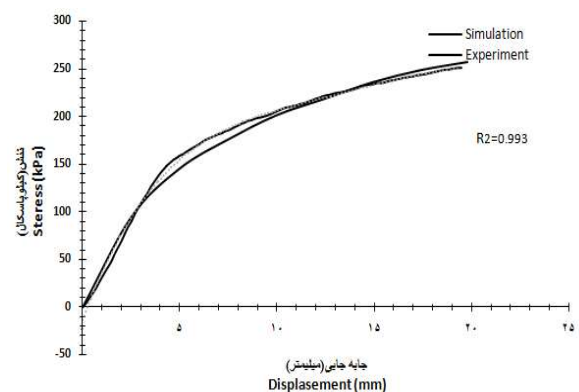


شکل ۳- برش نهایی نمونه خاک

نتایج و بحث

## صحت سنجی نتایج

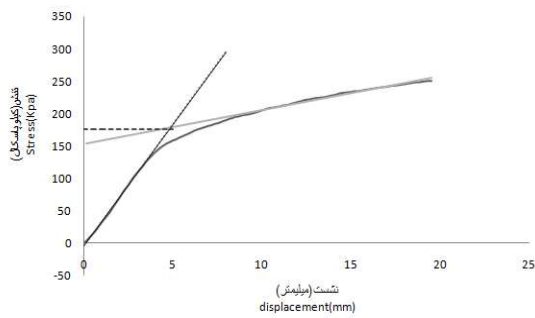
به منظور صحت سنجی نتایج بدست آمده از شبیه سازی آزمون نشست صفحه ای خاک میانگین تنش فشاری و جابجایی گره های زیر صفحه بارگذاری طی مرحله بارگذاری محاسبه و با نتایج بدست آمده از آزمایش تجربی نشست صفحه ای خاک مقایسه شدند. شکل ۳ نمودارهای تنش- نشست خاک بدست آمده از شبیه سازی اجزاء محدود را در مقابل نتایج آزمایش تجربی نشان می دهد. همانطور که از نتایج شکل ۴ قابل مشاهده است، روش اجزا محدود و معیار تسلیم دراگر- گراگر به خوبی توانسته با دقت بالایی و ضریب تعیین ۰.۹۹٪ رفتار تنش- نشست خاک را در زیر صفحه بارگذاری طی فرآیند تراکم خاک پیش بینی کند. بنابراین از روش اجزا محدود و معیار تسلیم دراگر پراگر به خوبی می توان جهت پیش بینی و بررسی رفتار تراکمی خاک استفاده کرد. نادری و همکاران (۲۰۱۸)، نیز طی شبیه سازی رفتار تراکمی خاک با مدل دراگر پراگر به نتایج مشابهی دست یافتند.



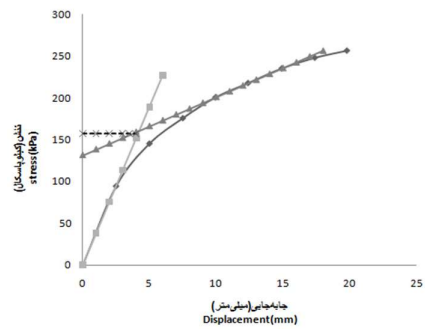
شکل ۴- مقایسه نتایج تنش-جابجایی نتایج بدست آمده از آزمایش های تجربی و نتایج شبیه سازی به روش اجزاء محدود

## تنش پیش تراکمی

شکل ۵ (a) و (b) به ترتیب نمودار تنش- نشست خاک بدست آمده از نتایج شبیه سازی از المان محدود و داده های آزمون تجربی نشست صفحه ای خاک مورد مطالعه را نشان می دهد. تنش پیش تراکمی به دست آمده در هر دو روش تجربی و شبیه سازی را نشان می دهد. به منظور تعیین مقدار تنش پیش تراکمی از روش الکساندرو و ارال (۱۹۹۵) استفاده شد. همانطور که از نتایج شکل ۴ مشاهده می شود، مقدار تنش پیش تراکمی بدست آمده از نتایج شبیه سازی به روش المان محدود برابر با ۱۶۵ کیلوپاسکال و مقدار تنش پیش تراکمی بدست آمده از آزمون نشست صفحه ای خاک نیز برابر با ۱۷۸ کیلوپاسکال بدست آمد. همانطور که ملاحظه می شود، مدل دراگر پراگر توانست با دقت خوبی و با خطای ۷ درصد تنش پیش تراکمی را تخمین بزند. بنابراین از روش اجزاء محدود و معیار تسلیم دراگر پراگر می توان با دقت خوبی تنش در آستانه تراکم را برای خاک زراعی پیش بینی کرد.



(b)

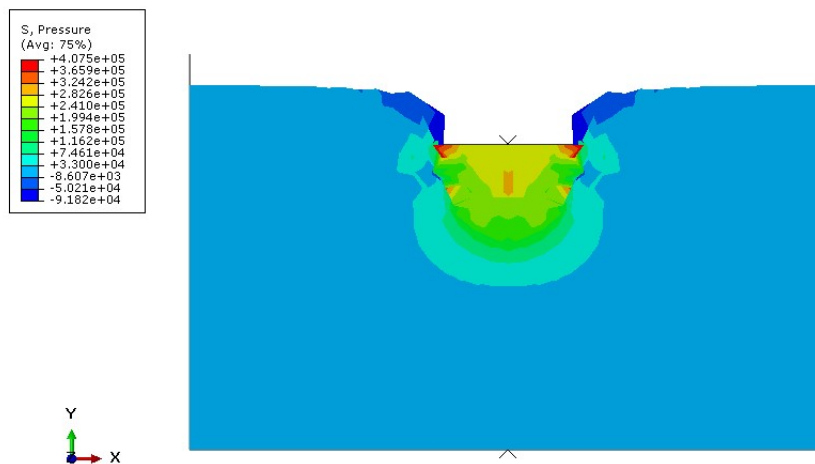


(a)

شکل ۵- تنش پیش تراکمی به دست آمده از روش الکساندرو وارال (a) داده‌های شبیه‌سازی (b) داده‌های تجربی

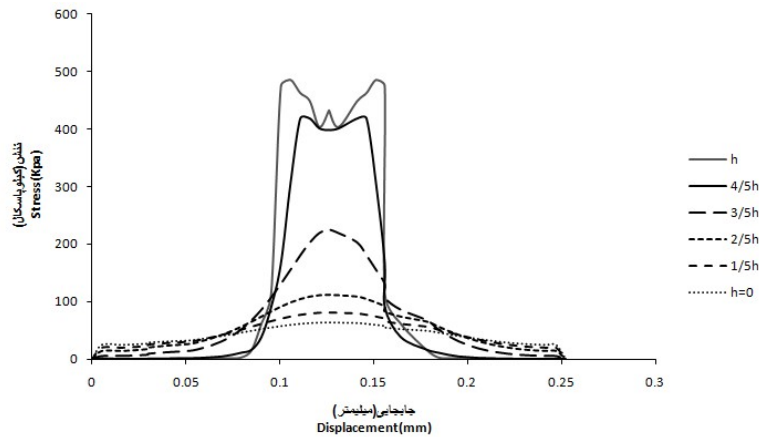
### نتایج توزیع تنش فشاری

توزیع تنش در خاک در انتهای بارگذاری در شبیه‌سازی در شکل ۶ آورده شده است.



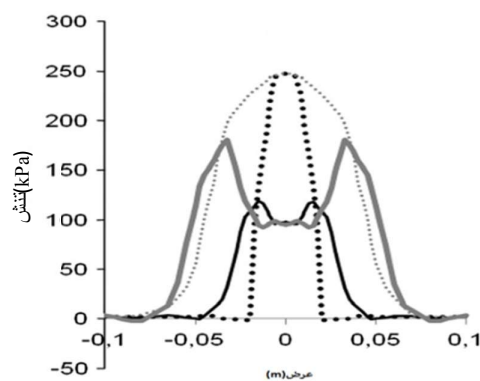
شکل ۶- توزیع تنش در خاک انتهای مرحله بارگذاری

در اعمال بار محوری به خاک، نحوه توزیع تنش در عرض خاک تحت بارگذاری زیر صفحه بارگذاری و اطراف آن است. در هنگام بارگذاری به خاطر ایجاد تمرکز تنش در اطراف عامل بارگذاری، توزیع تنش نامتوازن است و این امر باعث ایجاد تراکم در خاک در زیر سطح بارگذاری و اطراف محل بارگذاری می‌شود. شکل ۷ نحوه توزیع تنش در عرض نمونه خاک را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نحوه توزیع تنش در عرض تحت تأثیر بار محوری

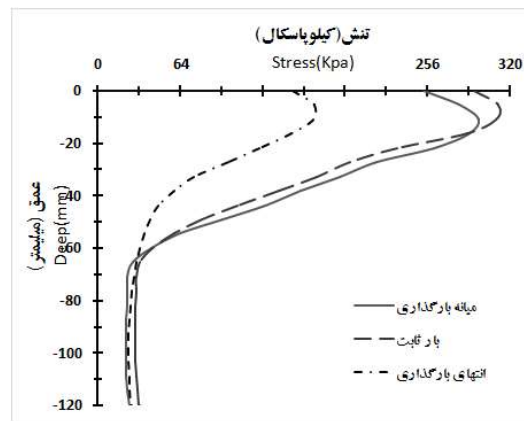
کلر و همکاران (۲۰۱۴) بررسی توزیع تنش در خاک تحت اثر بار محوری با استفاده از مدل‌های اجزاء محدود انجام داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که توزیع تنش در عرض زیر عامل بارگذاری به صورت منحنی است. شکل توزیع تنش در خاک تحت شرایط بارگذاری و شرایط خاک است. هر چه سطح تماس اعمال بار محوری کوچکتر باشد، تنش بیشتری در خاک ایجاد شده و شکل توزیع تنش سهمی است. در صورت افزایش سطح تماس، شکل توزیع تنش به صورت  $U$  شکل خواهد بود. نتایج این تحقیق در زمینه توزیع تنش در عرض از لحاظ الگوی توزیع تنش با گونزالز و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. شکل ۸ نمودار توزیع تنش تحت تأثیر بار و فشار باد لاستیک را نشان می‌دهد.



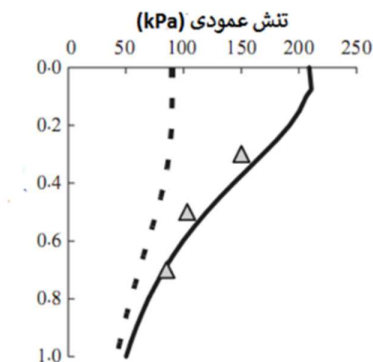
شکل ۸- پیش‌بینی توزیع تنش در عرض اقباس از گونزالز و همکاران (۲۰۱۶).

نکته دیگر در مورد اعمال بار محوری بر خاک، توزیع تنش در عمق است. در صورت دانستن مقدار تنش در نقاط مختلف خاک زیر عامل بارگذاری، میزان تراکم خاک قابل تخمین است. در تحقیق حاضر توزیع تنش در عمق با استفاده از مدل اجزاء محدود ارائه شده، استخراج گردید. نتایج حاصل در شکل

۹ قابل مشاهده است. با دانستن مقدار تنش در هر نقطه از خاک در محدوده بارگذاری، مقدار اثر بار وارده بر خاک مشخص می‌گردد. در هنگام بارگذاری باید دقت نمود که بار وارده باعث تراکم خاک نگردد. در صورتی که اعمال بار بیش از ظرفیت باربری خاک اجتناب‌ناپذیر باشد، میزان تراکم خاک در لایه‌های مختلف قابل پیش‌بینی است. در بکارگیری ماشین‌ها و ادواتی که باعث اعمال بار فشاری به خاک می‌گردند باید دقت شود که تراکم ناشی از اعمال بار محوری فشاری از دامنه بکارگیری ادوات خاک‌ورزی و دامنه اثر فرآیندهای طبیعی فراتر نرود. در غیر این صورت هزینه اصلاح ساختمان خاک افزایش یافته و کیفیت خاک نیز کاهش می‌یابد.

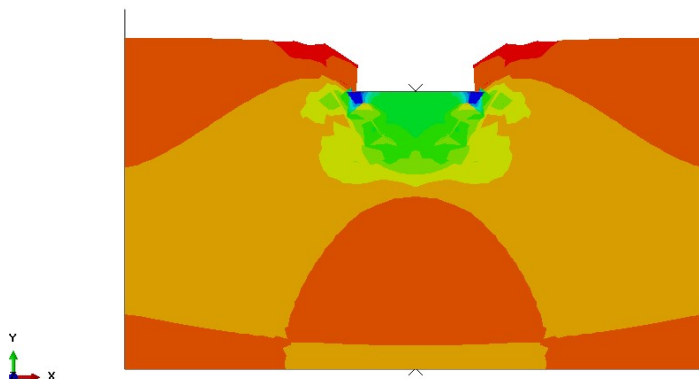


شکل ۹- توزیع تنش در عمق تحت تاثیر بار محوری حاصل از مدل اجزاء محدود



شکل ۱۰- توزیع تنش در عمق: تنش محوری اندازه‌گیری شده (مثلث)، تنش محاسبه شده طبق مدل [۳۳] خط سیاه توپر، تنش محاسبه شده طبق مدل [۲۰]، خط چین سیاه. اقتباس از [۵].

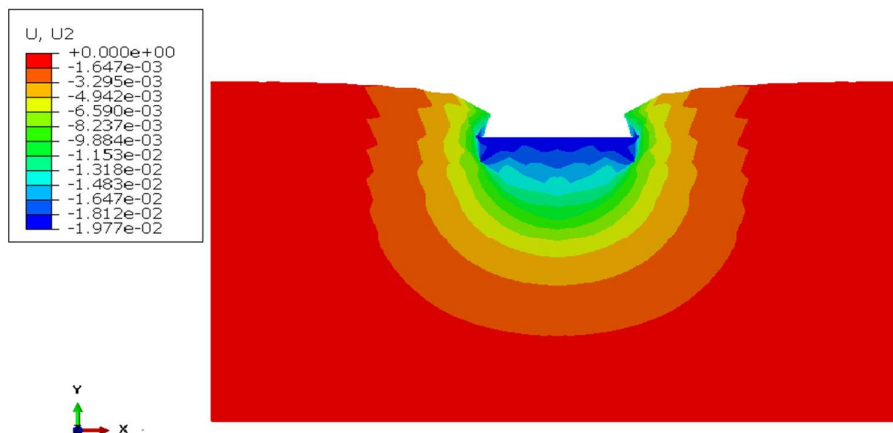
همچنین در شکل ۱۱ توزیع تنش در عرض نمونه خاک تحت اعمال بار محوری نمایش داده شده است. بر طبق این تصویر تمرکز تنش در قسمت اعمال بارگذاری می‌شود و دور شدن از مرکز اعمال بار، از مقدار تنش نیز کم می‌شود.



شکل ۱۱- تصویر نهایی توزیع تنش در عرض خاک

تصویر به دست آمده جابه‌جایی نهایی خاک در انتهای بارگذاری به روش اجزاء محدود

در پژوهش انجام شده، نحوه تغییر شکل خاک پس از اعمال بار توسط مدل دراکر پراگر ارائه گردید. بر طبق شکل ۱۲، در اثر اعمال نیروی محوری، خاک در انتهای مرحله‌ی بارگذاری تقریباً  $20\text{ mm}$  فشرده شده است. همچنین بیشترین مقدار تغییرات برای پارامتر جابه‌جایی در لایه‌های سطحی خاک و در مرکز ناحیه‌ی اعمال بار زیر صفحه بارگذاری می‌باشد و با پیشروی از لایه‌های اولیه خاک به سمت لایه‌های زیرین از مقدار آن کاسته می‌شود به طوری که در لایه‌های زیرین میزان جابه‌جایی به صفر نزدیک می‌شود.



شکل ۱۲- تصویر نهایی میزان جابه جایی خاک

### تشخیص میزان جابه جایی خاک با استفاده از تکنیک پردازش تصویر

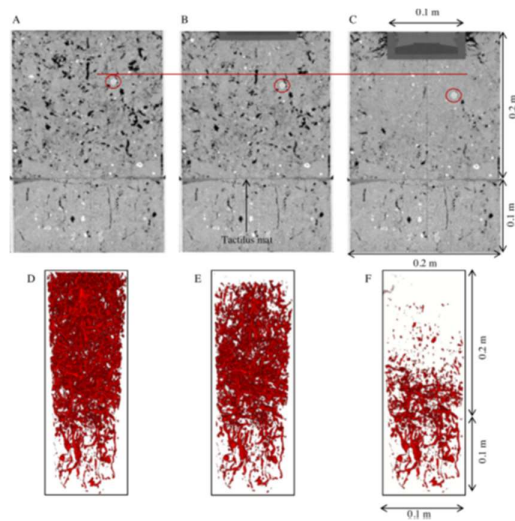
بر طبق تصویری که از تکنیک پردازش تصویر به دست آمده است، به خوبی مشاهده می شود که موقعیت مکانی خطوط گچی نسبت به موقعیت آن، قبل از اعمال بار تغییر کرده و این خطوط از سطح به سمت لایه های زیرین خاک حرکت کرده اند. بیشترین مقدار این جابه جایی و تغییر مکان در قسمت مرکزی نمونه (زیر صفحه ی بارگذاری) می باشد. با افزایش جابه جایی المان های عرضی و رسیدن به حداکثر تنش وارده به خاک، خطوط گچی به سمت پایین قوس پیدا می کنند و در لایه های خاک فرو می روند، این تغییر نشان دهنده ی تراکم شده خاک می باشد. بر طبق این تصاویر، قسمت هایی که رنگ آنها تیره تر می باشد، تراکم در این نواحی بیشتر از نواحی سفید و روشن می باشد.



شکل ۱۳- تصاویر پردازش شده نمونه های خاک در متلب

نوید و همکاران (۲۰۱۶) توزیع تنش در خاک و اثر فشردگی را بر روی تخلخل خاک تحت آزمون فشردگی نیمه محصور با استفاده از عکس برداری اشعه X را مورد بررسی قرار داد.

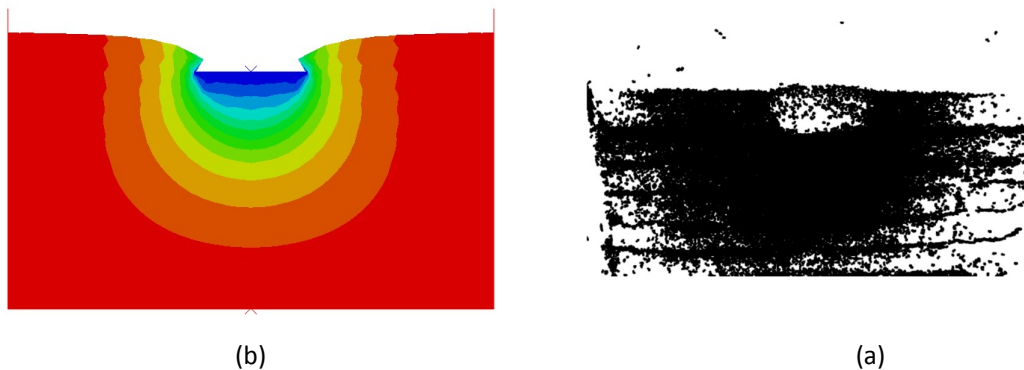




شکل ۱۴- تصویر به دست آمده ستون خاک با استفاده از اشعه X [۲۳].

این شکل به وضوح جابه‌جایی خاک در اثر اعمال تنش بر خاک و کاهش تخلخل خاک را نشان می‌دهد. ایشان بیان می‌کنند که انتقال تنش در خاک، شدیداً به مقدار تنش وارده به خاک و استحکام اجزاء خاک وابسته است [۲۳].

مقایسه تصویر وضعیت خاک فشرده شده حاصل از روش اجزاء محدود و تکنیک پردازش تصویر



شکل ۱۵- تصویرنمایی خاک فشرده شده، (a) تصویر به دست آمده از تکنیک پردازش تصویر (b) تصویر به دست آمده از روش اجزاء محدود

در هر دو تصویر فوق، وضعیت خاک پس از اعمال بار آشکار است و تصاویر به خوبی نشان می‌دهند که نمونه خاک پس از اعمال بار متراکم شده و لایه‌های سطحی خاک به سمت لایه‌های زیرین حرکت کرده‌اند. این تغییر وضعیت، در لایه‌های سطحی خاک بیشترین مقدار را دارد و هر چه از سطح به سمت عمق نمونه می‌رویم میزان جابه‌جایی و تراکم خاک کمتر می‌شود. همچنین این تغییر وضعیت در قسمت مرکزی نمونه بیشترین میزان را دارد و هر چه به سمت کناره‌های ظرف می‌رویم میزان تغییر کمتر می‌شود.

### نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی عددی فشردگی خاک با نرم‌افزار ABAQUS و در نظر گرفتن ماهیت خاک به عنوان جسم الاستیک-پلاستیک و با معیار دراگرپراگر، با داده‌های گزارش شده در آزمایش تجربی تطابق خوبی داشتند و مشخص شد که همانطور که در شبیه‌سازی اثبات شده است، تردد تراکتور و ماشین‌های کشاورزی، مقدار بارگذاری، افزایش عمق و فاصله گرفتن از مرکز سطح اعمال بار از عوامل تاثیرگذار بر تراکم خاک هستند. نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر به شرح زیر می‌باشد:

آزمون نشست صفحه‌ای با تخمین خوب تنش‌پیش‌تراکمی، روش مناسبی برای بررسی رفتار خاک در اثر عبور و مرور ادوات و ماشین‌های کشاورزی است، همچنین تنش پیش‌تراکم به دست آمده از شبیه‌سازی نشست صفحه‌ای تقریباً نزدیک به مقدار به دست آمده از آزمون تجربی بود. مدل با ضریب تبیین ۹۹٪ تطبیق مناسبی با داده‌های حاصل از آزمایش‌های تجربی داشت. نتایج شبیه‌سازی با مدل دراگرپراگر به روش اجزاء محدود نشان داد که توزیع تنش در عرض با فاصله گرفتن از مرکز سطح اعمال بار محوری در جهت افقی و قائم کاهش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش عمق توزیع تنش کاهش یافته و سپس به صفر می‌رسد. تصاویر به دست آمده از تکنیک پردازش تصویر، میزان تراکم خاک و نواحی که بیشترین تراکم را داشتند به خوبی نشان می‌دهند، و در تصویر پردازش شده، هر چه یک قسمت تیره تر باشد، تراکم در آن ناحیه بیشتر است.

از نتایج این تحقیق استنباط می‌شود که روش اجزاء محدود و تکنیک پردازش تصویر، وضعیت ناحیه‌ی متراکم شده پس از اعمال بار و آسیب فشاری نمونه خاک را مشابه هم نشان می‌دهند و هر دو روش دارای دقت کافی برای ارزیابی میزان جابه‌جایی و کرنش در سطح نمونه می‌باشند.

### منابع

1. ABAQUS, Version 6.10-1. ABAQUS theory manual. Providence (RI,USA): ABAQUS, Inc.; 2010.
2. Alexandrou, A. and Earl, R., (1995) In situ determination of the pre-compaction stress of a soil. Journal of Agricultural Engineering Research 61,6.71-7.

3. Alexandrou A. and Earl R (2001). "Deformation processes below a plate sinkage test on sandy loam soil: theoretical approach." *Journal of Terramechanics* 38:163-183..
4. A-Panah and Valinejad., 2006. Measurement of local strain in three-axis soil samples by digital image processing method.
5. ASTM D2216-10. 2016. Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, [www.astm.org](http://www.astm.org).
6. Batey, T.,2009. Soil compaction and soil management-a review. *Soil Use Manage.* 25(4), 335-345.
7. Bennet, J.M., Robertson, S.D., Jensen, T.H., Antille, D.L., Hall, J., 2017. A Comparative study of conventional and controlled traffic in irrigated cotton: I. heavy machinery impact on the soil resource. *Soil Tillage Res.* 168, 143-154.
8. Casagrande, A. 1936."The determination of preconsolidation load and tis practical significance". *International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.* 22-26 June, Cambridge, MA, Vol. 3, pp. 60-64.
9. Cueto, O.G., Coronel, C.E.I., Morfa, C.A.R., Sosa, G.U., Gómez, L.H.H., Calderón, G.U. and Suárez, M.H., 2013. Three dimensional finite element model of soil compaction caused by agricultural tire traffic. *Computers and electronics in agriculture*, 99, pp.146-152.
10. DeJong-Hughes, J.M., Moncrief, J.F., Voorhees, W.B., Swan, J.B., 2001. *Soil Compaction: Causes, Effects and Control.* University of Minnesota Extension Service (ww-03115).
11. Earl, R. (1997). "Assessment of the behaviour of field soils during compression." *Journal of Agricultural Engineering Research* 68(2): 147-157.
12. Gonzalez, R. C, and Woods, R. E. (2008). *Digital Image Processing.* New Jersey: Pearson Prentice Hall.
13. Gregory, A., et al.(2006). "Calculation of the compression index and precompression stress from soil compression test data." *Soil and Tillage Research* 89: 45-57.
14. Hamza, M.A., Anderson, W.K., 2005. Soil compaction in cropping system: a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Res.* 82(2), 121-145.

15. Hemmat, A., Nankali, N., & Aghilinategh, N. (2010). "Simulating stress–sinkage under a plate sinkage test using a viscoelastic 2D axisymmetric finite element soil model." *Soil and Tillage Research*, 118, 107-116.
16. Jaberimoez, m., &jafari, a., &keyhani, a., &shorafa, m., (2017) Effect of freezing and thawing process on soil compaction. *Journal of Agricultural Mechanization* 4.1.
17. Jimenez, K. J., Rolim, M. M., Gomes, I. F., de Lima, R. P., Berrío, L. L. A., & Ortiz, P. F. (2021). Numerical analysis applied to the study of soil stress and compaction due to mechanised sugarcane harvest. *Soil and Tillage Research*, 206, 104847
18. Keller, T., (2005) A Model for the Prediction of the Contact Area and the Distribution of Vertical Stress below Agricultural Tyres from Readily Available Tyre Parameters. *Biosystems Engineering* 92, 85-96.
19. Keller, T. &Arvidsson, J., (2006) Prevention of traffic-induced subsoil compaction in Sweden: Experiences from wheeling experiments: (Vermeidung von UnterbodenverdichtungendurchLandwirtschaftsmaschinen in Schweden: ErfahrungenausBefahrungsversuchen). *Archives of Agronomy and Soil Science* 52, 207-222.
20. Keller, T., Arvidsson, J., Dawidowski, J.B. &Koolen, A.J., (2004) Soil precompression stress. *Soil and Tillage Research* 77, 97-108.
21. Keller, T., Berli, M., Ruiz, S., Lamandé, M., Arvidsson, J., Schjønning, P. &Selvadurai, A.P.S., (2014) Transmission of vertical soil stress under agricultural tyres: Comparing measurements with simulations. *Soil and Tillage Research* 140, 106-117.
22. Lebert, M. and R. Horn. 1991. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. *Soil Till. Res.* 19: 275 – 286.
23. Naveed, N. and T. Keller. 2016. Quantifying vertical stress transmission and compaction-induced soil structure using sensor mat X-ray computed tomography. *Soil Till. Res.* 110-122.
24. Farhadi, P., Mohsenimanesh, A. &Alimardani, R., (2013) Evaluation of soil-tire interaction on a soil bin. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 15, 37-42
25. M.Z. Tekeste, E.W. Tollner, R.L. Raper, T.R. Way and C.E. Johnson, 2009, *Non-linear finite element analysis of cone penetration in layered sandy loam soil – Considering precompression stress state*, *J. of Terramech.* 46; 229–239.

26. E. Susila and R.D. Hryciw, 2003, Large displacement FEM modeling of the cone penetration test (CPT) in normally consolidated soil, *Int J. Numer Anal Meth Geomech*, 27; 585–602.
27. M.D. Bolton, 1986, The strength and dilatancy of sands, *Geotechnique*, 36(1); 65–78.
28. 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.
29. Peixoto, D. S., Silva, B. M., de Oliveira, G. C., Moreira, S. G., da Silva, F., & Curi, N. (2019). A soil compaction diagnosis method for occasional tillage recommendation under continuous no tillage system in Brazil. *Soil and Tillage Research*, 194, 104307.
30. Rashidi M. Gholami M. Ranjbar I. and Abbassi S. (2010). "Finite Element Modeling of Soil Sinkage by Multiple Loadings". *American-Eurasian Journal Agricultural and Environmental Sciences* 8(3): 292-300.
31. Senatore, C. & Iagnemma, K., (2014) Analysis of stress distributions under lightweight wheeled vehicles. *Journal of Terramechanics* 51, 1-17.
32. Shahghol, G.H., Ghafouri Chiyaneh, H. and Mesri Gundoshmian, T. 2018, Modeling of Soil Compaction Beneath the Tractor Tire using Multilayer Perceptron Neural Networks, *Journal of Agricultural Machinery*, 8(1), 105-118.
33. Soane, B.D. and Van Ouwerkerk, C. 1994. "Soil compaction in crop production Elsevier". P: 662.
34. Soehne, W., (1953) Distribution of pressure in the soil and soil deformation under tractor tires. *Grundl. Landtech* 5, 49-59.
35. Sivarajan, S., et al. (2018). "Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield." *Soil and Tillage Research*, 175: 234-243.
36. Ucgul M, Saunders C, Fielke JM. Comparison of the discrete element and finite element methods to model the interaction of soil and tool cutting edge. *Biosystems Engineering*. 2018 May 1;169:199-208.
37. Ucgul, M. and Saunders, C., 2020. Simulation of tillage forces and furrow profile during soil-mouldboard plough interaction using discrete element modelling. *Biosystems Engineering*, 190, pp.58-70.
38. Youssef, A.-F. A. and G. A. Ali (1982). "Determination of soil parameters using plate test." *Journal of terramechanics*, 19(2): 129-147.

39. Zhu, X.H. and Jia, Y.J., 2014. 3D Mechanical modeling of soil orthogonal cutting under a single reamer cutterbased on Drucker–Prager criterion. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 41, pp.255-262

## **Simulation of crop compaction behavior during plate sitting with Drager Prager model and image processing technique**

Mojtaba jaberi Moez<sup>1\*</sup>, Donya akbari<sup>2</sup>

1. Biosystems Engineering Department, Boali Sina University, Hamedan, Iran

2. Master of Biosystems Engineering

### **Abstract**

Soil compaction is a process that increases the apparent density of the soil and reduces the volume and cohesion of pores, reduces the water and air permeability of the soil, increases the mechanical strength of the soil and changes the soil structure. One of the most important parameters of the experience of soil compaction adsorption is pre-compaction stress if you are on the verge of soil compaction as a stress. In this research, the experimental test of plate subsidence on a sample of arable soil (loamy sandy loam) at the d.b.15 with a density of kg. 1500 m<sup>-3</sup> was performed and soil mechanical %inner surface moisture properties were approved. SPS session test for the executive method limited to two-dimensional and symmetric modes was predicted by simulation irrigation software and prefabricated stress with this method. It also causes stress and displacement in the transverse and deep layers of arable soil to be analyzed. The results showed that the Drager-Prager model with an explanation coefficient of 99% pressure was in good agreement with the data obtained from the experimental experiment. Examination of compressive stress and displacement in different layers in the soil depth showed that the amount of stress and displacement in the layers close to the loading surface is more and decreases the amount of stress and displacement as it progresses to the lower layers; Also, the amount of stress on the surface of each layer of soil decreases with distance from the loading center. Also, in this research, an attempt has been made to use the image processing technique of MATLAB software as a method to destroy the amount of soil use. The imaging of the results is consistent with the results of the finite element method, and both have limitations that show your soil well.

**Key words:** Image processing, soil compaction, plate sinkage, pre-compression stress, dragger-prager

\*Mojtaba Jaber moez

E-mail: [mjtbjberi@gmail.com](mailto:mjtbjberi@gmail.com)