



## بررسی روند تغییرات فشار حفره ای در اثر احداث خاکریز جاده روی خاکهای با بافت نرم با استفاده از روش اجزاء محدود

آرمین بوستانی<sup>۱</sup>، حسن گلماهی<sup>۲</sup>، حسین انصاری<sup>۳</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

Water\_structure82@yahoo.com  
h.golmaei@sanru.ac.ir  
Ansary@um.ac.ir

### خلاصه

ارزیابی بدون انجام زه کشی، تنش های موثر و تحکیم در زمان انجام عملیات ساختمانی خاکریزها از مواردی است که باید مد نظر قرار گیرد. بررسی موارد مذکور با روش اجزاء محدود و تعیین شرایط مرزی و فشار حفره ای انجام شد. ابتدا خاکی با بافت همگن با دو لایه مدل شد و سپس رفتار نمونه مذکور با نرم افزار انسیس و پلاکسیس شبیه سازی شد. بررسی نتایج نشان داد که خروجی هر دو نرم افزار که به روش عددی اجزای محدود کار می کنند، به یکدیگر نزدیک است. اما با مد نظر قرار دادن مسائل ژئوتکنیکی، نتایج دقیق تری از نرم افزار پلاکسیس بدست آمد.

کلمات کلیدی: خاکریز جاده، فشار حفره ای، تحکیم، اجزای محدود، توزیع تنش موثر.

### ۱. مقدمه

خاک متشکل از ذرات جامد و حفرات بین آن هاست. از طرفی طبق قانون ثقل، آب می تواند از یک نقطه پر انرژی به نقطه دارای انرژی کم تر جریان پیدا کند. در اصل پارامترهای متعددی در تغییر شکل و جابجایی فونداسیون خاکریزها موثر هستند. از جمله این عوامل می توان به: گسل ها، رگه ها و لایه سست سنگ های هوا زده، لایه های رسی نرم و شیل های هوا زده، و نیز افزایش فشار منفذی آب (حاصل از تحکیم لایه ها در اثر اعمال بار و...) که موجب کاهش مقاومت آن می شود، اشاره کرد. از این رو است که بلافاصله پس از ساخت به علت افزایش فشار منفذی و کاهش مقاومت برشی احتمال لغزش لایه ها نیز افزایش می یابد.

خاکریزها به عنوان سازه ای سنگین که با بستر زیرین خود اندرکنش دینامیکی قابل توجهی دارند، باید مد نظر قرار گیرند. ساخت یک خاکریز جاده روی لایه های خاک با بافت نرم با وجود تراز آب اشباع بالا، سبب افزایش فشار حفره ای در لایه ها می گردد. در اثر اعمال بار بدون صورت گرفتن زه کشی، تنش موثر بدست آمده کاهش می یابد. بدین منظور بررسی تغییرات فشار حفره ای و همچنین میزان نشست خاکریز جاده نمونه ای بر روی خاک های نرم صورت گرفت. کارستن و همکاران (۲۰۰۶) در طی مطالعاتی رفتار تنش- کرنش خاکریز روی پی نرم با پنج مدل مختلف و در شرایط غیرزه کشی ساخت و با لحاظ زمانی برای تحکیم بررسی کرد. نتایج هر پنج مدل تفاوت کمی نسبت به هم داشت. (۱)

مقایسه روش های ریاضی عددی با روش های محاسباتی ژئوتکنیکی برای اعتبارسنجی مدل های مقایسه ای همواره صورت گرفته است. روش عددی بکار رفته اجزاء محدود و مدل های بکار رفته انسیس و پلاکسیس می باشد. در این مدل سازی سعی شده است تا سازه و کلیه مشخصه های ژئوتکنیکی آن مدل شود.

ملا و همکاران (۲۰۰۰) در بررسی روش اجزاء محدود با موضوعات مرتبط با اندرکنش خاک و سازه، با تبعیت از قانون موهر- کولمب دریافتند که این روش قابلیت تعیین اکثر پارامترهای مکانیکی (تنش های بینابین، تعبیر شکل، جابجایی، فشار حفره ای،...) را دارا است. (۲)

<sup>1</sup>-Finite element Method (FEM)



در حل به روش اجزا محدود، توسط هر دو نرم افزار عواملی چون: بافت خاک، شرایط زه کشی، جنس لایه های تشکیل دهنده خاکریز، مدل های مقایسه ای یا همان ابعاد روش آنالیز المان محدود که شامل مش بندی، شرایط مرزی، بازه های زمانی محاسباتی یا همان فاز عملیات ساخت خاکریز و هم چنین لحاظ فشار آب حفره ای و مرزهای لایه های خاک می بایستی اعمال شود. بورگس و همکاران (۲۰۰۴) دریافتند که میزان ماکزیمم نشست مورد انتظار در انتهای بازه عملیات احداث خاکریز روی خاک های با بافت نرم بیشتر از سایر بافت ها می باشد و این تغییر بدلیل کاهشی که در میزان درصد تخلخل در حین تحکیم صورت گرفته است (۳).

ساری ابوشرار و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی خاکریزی لایه به لایه خاکریز جاده و مدل کردن با روش عددی اجزاء محدود دریافتند که در اکثر مواقع بیشترین نشست در بخش پنجه خاکریز به وقوع می پیوندد. (۴)

نرم افزار پلاکسیس به تجزیه و تحلیل تغییر شکل ها و بهم ریختگی ها در مبحث پایداری لایه های خاک می پردازد. البته مدل رفتاری استفاده شده در این مورد مطالعه ارزیابی با پلاکسیس معیار موهر-کلمب است. بعلاوه در این نرم افزار شرایطی از قبیل: زه کشی یا زه کشی نشده یا حالت اشباع و غیر اشباع در منوهای مربوطه تعریف شده که جزء خواص یک نرم افزار ژئوتکنیکی است. پلاکسیس از جمله نرم افزارهایی است که قابلیت مدل نمودن (بستر پی)، سازه ها را با تکنیک المان های محدود دارد. وجود این حالات در انسیس، تنها مستلزم تعیین حدود و تعریف شرایط مرزی جدید است.

نرم افزار انسیس قابلیت انجام آنالیز های گوناگون اعم از سازه ای، حرارتی، سیالاتی، مغناطیسی و الکتریکی را دارا می باشد. نرم افزار انسیس به منظور مدل سازی سازه، اندرکنش آن با خاک و اعمال شرایط مرزی مناسب با تحلیل عددی، دارای قابلیت مناسبی است. همچنین انسیس دارای کارایی مناسب در تحلیل دینامیکی می باشد. بررسی المان ها در این مورد با انسیس صفحه ای ۲ بعدی ۲ است. در جدول (۱) به بررسی قابلیت های اجرایی بین دو مدل انسیس و پلاکسیس پرداخته شده است.

جدول ۱- مقایسه بین قابلیت های انسیس با پلاکسیس

پارامترها	Ansys	Plaxis
روش حل	صریح و روشن	صریح و روشن
حافظه مورد نیاز در سیستم	تقریباً زیاد	کم
روش مسائل غیر خطی	بدون تکرار	با تکرار تجمعی
محاسبات گود برداری	مدول ها کمتر لحاظ می گردد	با احتساب تمامی گره ها
اجزا سازه ای	زیاد	کم
محیط کاربری	خوب و کمی خاص	خوب و روشن
مدل های ترکیبی	زیاد	تقریباً زیاد

بنابراین خاکریز با هر دو مدل و در شرایط یکسان مدل گردیده، تا بتوان در انتها خروجی های انسیس و پلاکسیس را که هر دو با یک روش ولی با اجزای متفاوت کار می کنند را تجزیه و تحلیل کرد. هم چنین برتری های دو مدل در موارد ذکر شده نسبت به یکدیگر بایستی در پایان مشخص گردد.

## ۲. مواد و روش ها

در چیدمان لایه های خاک، به ترتیب از پائین به بالا، رس، پیت و ماسه قرار دارد. مشخصه های خاک ها چون: چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی در مدل شبیه سازی خاک انسیس وجود نداشت. بنابراین از معادل سازی منوی حرارت و انتقال شاره این نرم افزار استفاده گردید. مدل دراگر- پریگر که به تعیین رفتار و خصوصیات مواد فلزی در انسیس اشاره می کند، بدلیل داشتن موارد ذکر شده و همچنین زاویه اتساع، برای مدل سازی استفاده شده است. طبق جدول (۲) مشخصه های فیزیکی- مکانیکی خاک های تشکیل دهنده خاکریز و همچنین پی مطابق زیر می باشد:

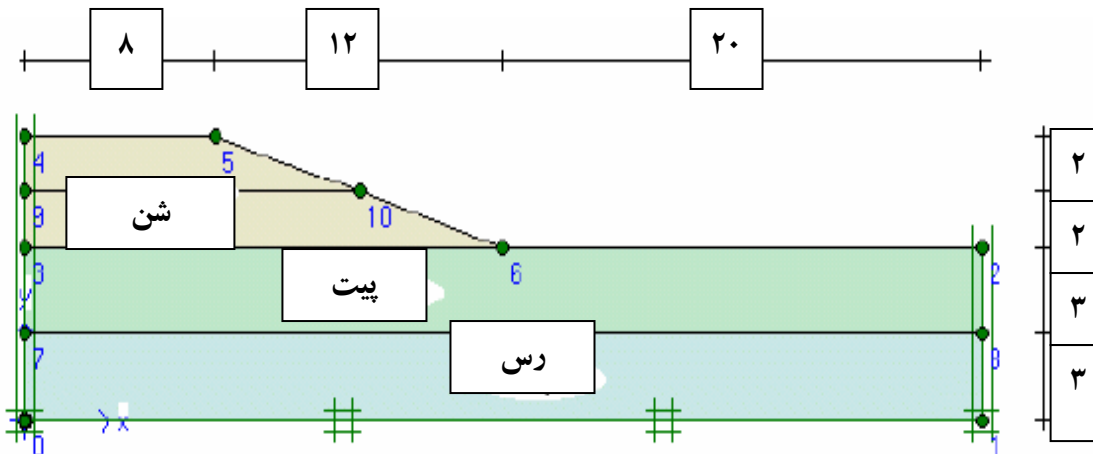


جدول ۲- خواص فیزیکی- مهندسی لایه های خاک پی و خاکریز

واحد	شن	پیت	رس	علامت	مشخصه
-	موهر- کولمب	موهر- کولمب	موهر- کولمب	-	مدل مواد
-	زهکشی	زهکشی نشده	زهکشی نشده	-	شرایط
$KN/m^3$	۱۶	۸	۱۵	$\gamma_{unsat}$	چگالی خاک بالای سطح ایستایی
$KN/m^3$	۲۰	۱۱	۱۸	$\gamma_{sat}$	چگالی خاک زیر سطح ایستایی
$KN/m^2$	۳۰۰۰	۳۵۰	۱۰۰۰	$E_{REF}$	مدول یانگ
-	۰/۳	۰/۳۵	۰/۳۳	$\nu$	نسبت بواسن
$KN/m^2$	۱	۵	۲	$C_{REF}$	چسبندگی
۰	۳۰	۲۰	۲۴	$\varphi$	زاویه اصطکاک

در تعیین حدود مرزی، مرزهای کناری ناتراوا فرض شده است (شکل ۱). بعبارتی تبادل این مرزها را با اطراف منقطع و ستون مورد نظر را ایزوله در نظر گرفته می شود. در تعیین مشخصات هندسی به علت متقارن بودن ساختار خاکریز و لایه ها، در نرم افزار پلاکسیس یک نیمه از پروفیل شکل را در نظر می گیریم. فواصل مشخص شده روی شکل به متر می باشد.

شکل ۱- مشخصات هندسی لایه ها و شرائط مرزی تعریف شده خاکریز جاده



مهم ترین مرحله پس از تعریف مواد و شرائط هندسی، مش بندی محیط مفروض است. افزایش فشار حفره ای ناشی از عملیات ساخت و اعمال بارگذاری روی لایه های خاک توسط مش بندی به صورت گرافیکی در پلاکسیس کاملا مشهود است. البته در کف (مرز پائین) سطح جدایش و تبادل باز (سطح آزاد) فرض می شود تا آب اضافی (در صورت زه کشی) در اثر اعمال بار تدریجی زائل شده و به لایه های خاک سست تر پائینی که در مدل در نظر گرفته نشده، جریان یابد. در مسائل تحلیل اجزا محدود ناحیه تفکیک شده و مرزهای انتهایی مشخص بوده اما، عموماً برای مسائل ژئوتکنیک تحلیل اندرکنش سازه و بستر خاکی آن لازم است که بخش گسترده ای از بستر تکیه گاهی و جنس و مشخصه های لایه های خاکی که سازه روی آن



قرار گرفته است در مدل اجزا محدود قرار می گیرد. تعیین مرزهای مصنوعی برای شبکه اجزا محدود و مدل کردن بستر از پارامترهای مهم در اجرای این مدل توسط هر ۲ نرم افزار است.

روش عددی بکار رفته اجزاء محدود بمنظور تعیین تغییر حالت خاک بر اساس مدل الاستیسته- پلاستیسته است. اساس عددی معادله پیوستگی تغییر شکل ها (بمنظور مدل کردن حالت الاستیسته- پلاستیسته ۳ خاک) معادله تعادل پیوسته استاتیکی از رابطه زیر تبعیت می کند: (۵)

$$\underline{\underline{L}}^T \underline{\underline{\sigma}} + \underline{\underline{p}} = \underline{\underline{0}} \quad (1)$$

ماتریس تنش ۳ بعدی (کارترین) از حالت ۶ گره برای بررسی مولفه های مشتق استفاده شده است.

$$(2)$$

$$\underline{\underline{L}}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}$$

P مولفه فشاری (المان نیرو)  $\underline{\underline{L}}^T$ : ماتریس ترانهاده جابجایی و  $\underline{\underline{\sigma}}$ : مولفه تنش موثر می باشد.

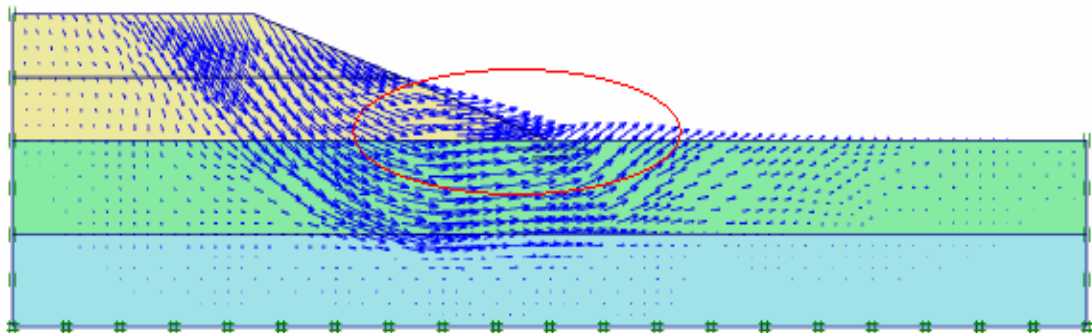
پس از تعریف مواد و شرائط مرزی، از منوی محاسبات ۴، می توان ریز نتایج و خروجی را توسط پلاکسیس بررسی کرد. در هر دو مدل خصوصیات هندسی یکسان تعریف می شود. سپس بار گذاری استاتیکی و دینامیکی با توجه به سطح ایستایی در دو حالت صورت گرفته و نتایج دو مدل با هم مقایسه می شود.

از طرفی نشت و افزایش فشار گرا دیان هیدرولیکی سبب ناپایداری دیواره های کناری می گردد. پلاکسیس قدرت محاسبه و پردازش این فرآیند و خروجی گرافیکی آن را در حالت بهم خوردگی و تغییر شکل، دارا می باشد. سعی شده این تغییرات در انسیس نیز به صورت پلاکسیس مدل شود.

### ۳. اجرای مدل و ارزیابی نتایج

توجه به این نکته حایز اهمیت است که شرائط احداث خاکریزها، شرائط خاصی است که عموماً برای خاک غیراشباع، دونوع نفوذپذیری، نفوذپذیری نسبت به آب حفره ای و نفوذپذیری نسبت به هوای حفره ای تعریف می شود. این ضرایب، اعداد ثابت نبوده و تابع عواملی مانند درصد رطوبت، مکش ماتریسی و ... هستند. پس از بار گذاری و اعمال هندسه و مواد لایه های خاک با پلاکسیس شکل (۲)، دگرشکلی توده خاک در پنجه خاکریز مشهود است. ناحیه بیرون زدگی در پنجه خاکریز و نشت در دیواره با دایره قرمز رنگ مشخص شده است.

شکل ۲- جابجایی و بیرون زدگی آواری توده خاکریز پس از ساخت در پلاکسیس



<sup>3</sup> - Elasto-Plastic

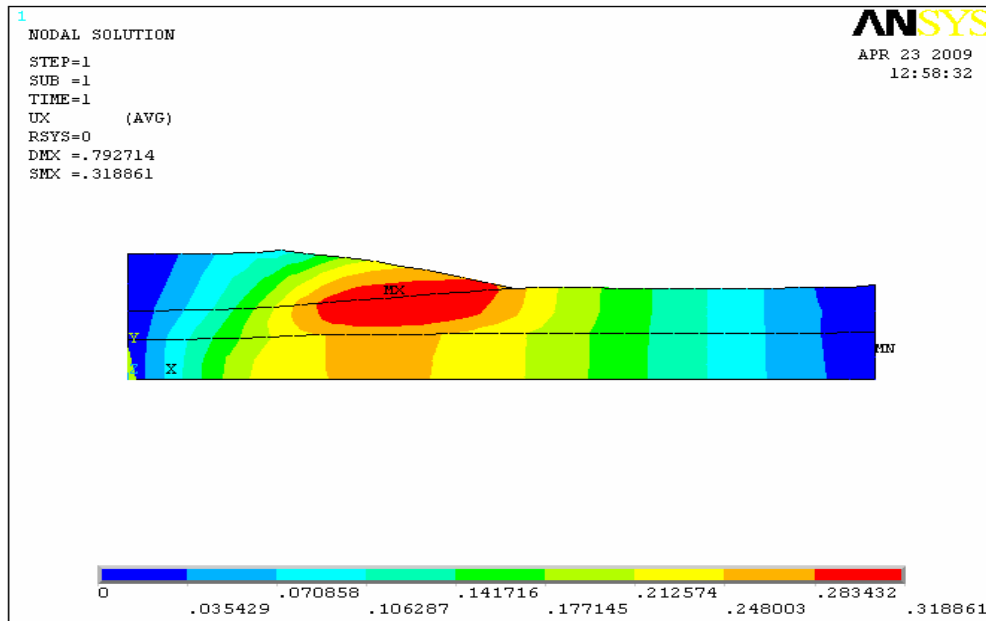
<sup>4</sup> - Calculation



البته در محاسبه تعیین مکش ماتریسی نرم افزار پلاکسیس توسعه نیافته است که نیاز به بسط و کار روی آن می باشد. برای جبران این نقایص می توان از این نرم افزار به صورت تلفیقی با برنامه هایی چون udam استفاده کرد(۶)

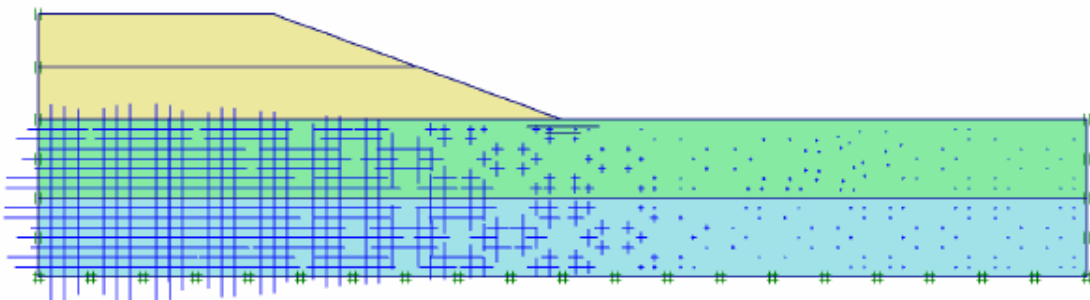
با وارد کردن مشخصات مشابه در نرم افزار انسیس شکل(۳)، بهم خوردگی خاکریز و نشست لایه های آن مشخص می شود. به علت تعدد گره ها و بررسی در هر یک از آن ها و محاسبه جزئیات توسط روش عددی اجزاء محدود، علاوه بر بیرون زدگی در پنجه خاکریز، نشست کل لایه های ساختاری خاکریز و همچنین پی مورد نظر مشهود است.

شکل ۳- بیرون زدگی و نشست خاکریز به همراه پی نرم (رس) مدل شده با انسیس



ناحیه قرمز رنگ بیشترین تغییر شکل و بیرون زدگی را در انسیس نشان می دهد. توضیح آنکه در انسیس ۱۹۴ گره بکلی در محاسبات لحاظ گردیده است. البته در حالت کلی و روش تئوریک- محاسباتی قسمتی از این بیرون زدگی ها در اثر اعمال نیرو برآ، از لایه پائینی به خاکریز جاده می باشد. تمامی این تغییر شکل لایه خاک پس از انجام فرآیند تحکیم در لایه خاک فوقانی شکل می گیرد. از جمله توانایی های پلاکسیس که در انسیس مشاهده نمی شود، ترسیم و تعیین افزایش فشار حفره ای در فاز خاکی منطبق بر لایه بندی و تعیین سطح تراز ایستایی خاکها می باشد. همان گونه که در شکل(۴) دیده می شود، این افزایش فشار حفره ای در سمت چپ نمونه، جایی که اعمال فشار قائم از سوی خاکریز جاده صورت می گیرد، بیشتر می باشد. در نمونه هر چه بیشتر به سمت راست می رویم، (در جهت کاهش اعمال فشار قائم) این افزایش فشار رو به کاهش می گذارد، تا جایی که به صفر می رسد. پر واضح است که بیشترین افزایش فشار حفره ای در مرکز لایه زیرین خاکریز جاده اتفاق می افتد.

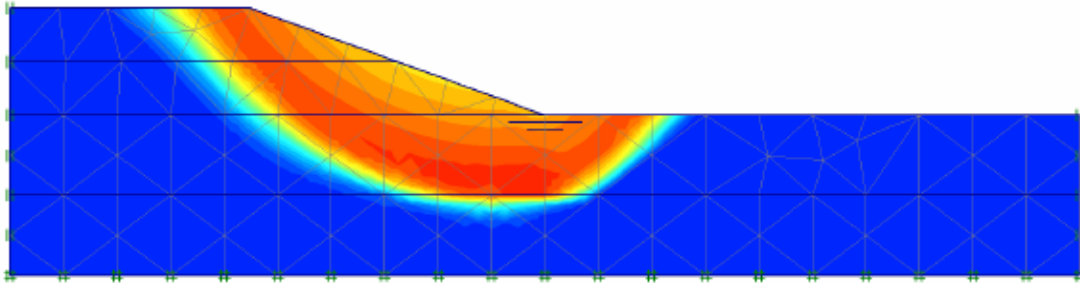
شکل ۴- افزایش فشار آب حفره ای در اثر ساخت خاکریز در حالت زهکشی نشده در پلاکسیس





هر دو نرم افزار قابلیت ترسیم و نمایش نتایج بصورت مش بندی و (shading) را دارا می باشد، که در پائین خروجی پلاکسیس مشاهده می شود. شکل (۵)

شکل ۵- ناحیه گسیختگی ماکزیمم در پنجه خاکریز مدل شده با پلاکسیس



در حین ساخت خاکریز، جابجایی (نشست) در راستای قائم در نزدیک پنجه خاکریز و همچنین جابجایی افقی خاک (بیرون زدگی خاک که در اثر فقدان پوشش سطحی خاکریز رخ می دهد) باید لحاظ گردد. (۷)

تغییر شکل پذیری فوق العاده بالای خاکهای نرم رسی و کاهش چشمگیر مقاومت برشی آنها در اثر افزایش فشار آب منفذی، دو عامل اصلی در کاهش ضریب اطمینان پایداری سازه هایی هستند که بر روی فونداسیون هایی از این نوع احداث می شوند. احداث خاکریز بر فونداسیون هایی از جنس نرم اکثرا با پدیده نشست روبروست. بدلیل پایین بودن مقاومت برشی کم رس های نرم از احداث خاکریزهای بلند بر روی اینگونه خاکها باید اجتناب کرد.

دو عامل تسریع در ساخت خاکریز و مینیمم کردن مقاومت برشی زهکشی نشده خاک های رس از عوامل مهم در ناپایداری خاکریزهای جاده می باشد. همچنین در انسیس با معادل سازی خطوط جریان آب (نشست در مرز بیرون زدگی) با حرکت سیال در منوی ترمال انسیس بصورت زیر بازسازی کرد.

با کاهش درجه اشباع ضریب اطمینان محاسباتی افزایش می یابد. علت این امر را می توان ناشی از تأثیر مکش ماتریسی دانست زیرا وجود مکش در ساختار یک خاک، سبب افزایش استحکام و مقاومت برشی خاک می شود. بنابراین با کاهش درجه اشباع، مکش ماتریسی موجود در خاک افزایش یافته و این پدیده سبب بهبود مقاومت برشی خاک و در نتیجه افزایش ضریب اطمینان پایداری خاکریز میشود. از طرفی با توجه به این که پس از پایان ساخت و با گذشت زمان، از فشارهای حفره ای کاسته می شود، بنابراین انتظار می رود که مقادیر ضریب اطمینان به دست آمده افزایش یابد. پس از احداث خاکریز و با گذشت زمان های بیشتر، ضریب اطمینان پایداری افزایش می یابد. این پدیده می تواند به دلیل محوفشار هوا و فشار آب حفره ای در اثر گذشت زمان باشد. همچنین با کاهش نفوذپذیری خاک، ضریب اطمینان پایداری خاکریز (بخصوص در شرایط حین ساخت و بلافاصله پس از آن) نیز کاهش می یابد.

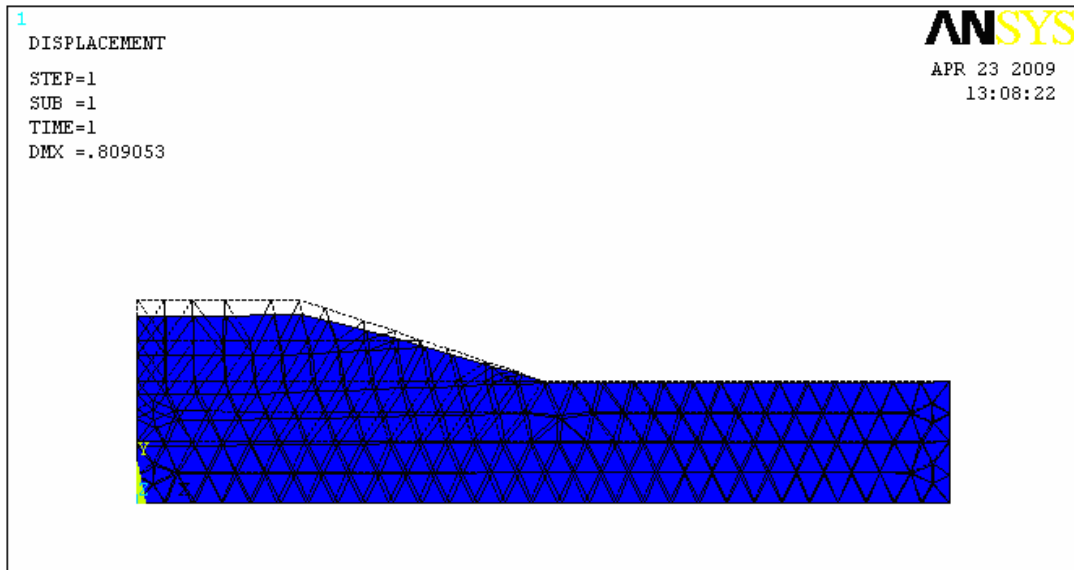
از آنجا که در حین ساختن خاکریز، مقداری تحکیم صورت می گیرد، آزمایش تحکیم یافته زهکشی نشده<sup>۵</sup>، توام با سنجش فشار آب منفذی برای این شرایط مناسب می باشد. ساختن سازه بر روی یک رس اشباع، ابتدا موجب افزایش فشار آب منفذی می گردد. پس از پایان ساخت خاکریز (به صورت لایه لایه) از طرفی با کاهش فشار آب حفره ای اضافی پایداری خاکریز افزایش و از سوی دیگر بدلیل کاهش نفوذپذیری بافت خاک پی، باید انتظار وقوع نشستی در خاکریز و تابع آن در پی رسی را داشت. این نشست در ابتدا تنها بصورت دگرشکلی<sup>۶</sup> در راستای قائم رخ می دهد. نرم افزار انسیس بدلیل قابلیت های سازه ای که داراست، توانایی مدل کردن نشست توده خاک خاکریز روی پی خواهد داشت. البته باید متذکر شد که محاسبات و تغییر شکل ها پس از گودبرداری های وسیع که موجب تغییرات در پاره ای از مشخصه های خاک می شود در تحلیل پلاکسیس دقیق تر خواهد بود. تنها با گذشت زمان است که تحکیم صورت گرفته و تنش موثر افزایش می یابد. با کاهش تدریجی فشار آب منفذی، تنش موثر قائم افزایش یافته و حجم خاک کاهش می یابد. (شکل ۶) پدیده کاهش حجم موجب نشست خاکریز جاده بر روی پی رسی شده و موجبات تغییر شکل در پی و لایه های زیر آن و همچنین ساختار خاکریز جاده و تاسیسات سطحی استوار بر سازه می گردد.

<sup>۵</sup> -CU

<sup>۶</sup> -Deformation



شکل ۶- نشست خاکریز پس از پایان عملیات ساخت در اثر تغییر فشار آب حفره ای مدل شده با انسیس



#### ۴. نتیجه گیری

در حین عملیات ساخت خاکریز و بلافاصله پس از آن در بخش های ریزدانه و با نفوذ پذیری کم لایه های خاکریز، فشار آب منفذی حبس شده ابتدا بصورت صعودی افزایش یافته ولی به تدریج این مقدار کاسته می شود و لایه های پائین تر تحکیم می یابند. شدت و چگونگی توزیع فشار آب منفذی نه فقط بستگی به مشخصات تحکیمی و نفوذ پذیری مواد و شرایط مرزی زهکشی دارد، بلکه تا مقدار بسیاری به چگونگی و ترتیب اجرای عملیات ساختمانی دارد.

معین شد که برای خاکریزهای احداث شده با جنس خاکهای رسی در شرایط زهکشی نشده، تنش برشی با افزایش عمق در راستای قائم افزایش می یابد. مدل مور- کولمب در کوتاه مدت نتایج نسبتاً خوبی می دهد، ولی در ارزیابی نشست های درازمدت اثرات رفتار خزشی خاک موجب کاهش دقت می گردد. در صورتی که استفاده از مدل خزشی خاک های نرم با دقت بهتری در دراز مدت با وجود داده های واقعی عمل می کند. به طور کلی پایین بودن ظرفیت برابری و مقاومت برشی و نیز بالابودن قابلیت تراکم پذیری پی های احداث شده بر رس های نرم، مرحله خاکریزی سدها را در حین ساخت با مشکلاتی روبرو خواهد کرد.

برای اجتناب از این دگرشکلی های خاک پی، خاکریزی به صورت لایه ای انجام گرفته تا در هر لایه زمانی برای تحکیم و زوال فشار آب حفره ای در نظر گرفته شود. جهت پایداری این سازه باید عمل تحکیم برای زائل کردن فشار حفره ای اضافی بوجود آمده صورت گیرد. نشست و تراوش و هم چنین تغییرات فشار حفره ای حداکثر برآوردی توسط نرم افزار پلاکسیس و روش های تئوری و نظری تقریباً برابر و دارای اختلاف جزئی و قابل اغماض بود.

چنانچه ضخامت لایه فوقانی بالای خاکهای نرم رسی، افزایش یابد و از نوع درشت دانه باشد، تنش های کمتری به لایه زیرین منتقل می شود و پایداری سازه حفظ خواهد شد. بهتر است در حین عملیات ساخت خاکریز پس از ساخت فاز اول (حدود نصف ارتفاع خاکریز) بازه استراحت زمانی قرار داده شود تا پدیده کاهش فشار منفذی اضافی در فونداسیون خاکریز مجال یابد. (۸)

مشکل مسائل نشست و تراز آب اشباع ۷ در انسیس با معادل سازی از منوی ترمال (انتقال گرما و حرارت)، می توان محاسبه کرد، و از نظر بعد میکروسکوپی و بررسی در تک تک گره ها، در صورتی که اطلاعات دقیق و صحیح وارد شده و موازنه معادلات و تبدیل واحدها در منوها صورت گیرد، نرم افزار انسیس در محاسبات سازه ای و مسائل اندرکنش خاک با سازه، عملکردی مشابه نرم افزار Flac و به مراتب دقیق تر از پلاکسیس دارد.

<sup>7</sup> - Phreatic Level



منتهی در حالت کلی، شبیه سازی معادلات ژئوتکنیک در انسیس پیچیده و نیاز به تخصص داشته و همین موضوع دامنه خطاهای کاربر را نسبت به پلاکسیس در حل مسائلی از این دست بیش تر می کند.

مدل پلاکسیس برای تحلیل تغییر شکل ها و پایداری در عملیات ژئوتکنیکی مهندسی کاربرد زیادی دارد و در ساخت مرحله ای خاکریز می توان از آن برای ارزیابی رفتار تنش- کرنش، تحکیم، فرآیند گسیختگی، جابجایی و مواردی نظیر آن استفاده نمود. مدل های رفتاری موهر- کلمب، سخت شوندگی هذلولی، مدل نرم شوندگی و نرم شوندگی خزشی از منوهای مورد استفاده در پلاکسیس است. (۹،۱۰)

وجود ذرات رسی در یک نمونه خاک ماسه ای، اصطکاک داخلی آن ها را کاهش می دهد زیرا ذرات رسی در بین دانه ها قرار گرفته و به این حرکت آن ها را آسان تر می کند. (۱۱)

با لحاظ شرایط خطی و غیر خطی الاستیسیته، الاستیسیته با احتساب تنش و یا بدون آن، مشخص شد که لایه رس مدل شده بیشترین خاصیت تغییر ارتجاعی را در این حالات نسب به بافتهای دیگر از خود بروز می دهد.

برای مدلسازی خاکریز جاده، شرایط الاستیسیته- پلاستیسیته با احتساب تنش برشی، بیشترین کاربرد را در تعیین فشار حفره ای و شناسایی رفتار خاکهایی با بافت نرم دارد. نرم افزار پلاکسیس از ابعاد ذکر شده، علی الخصوص محاسبه نشست و تعیین فشار آب حفره ای و همچنین مسایل مرتبط با تحکیم در حین ساخت خاکریز طبق نتایج فوق دقیق تر و کاربری آسان تری دارد.

## ۵. قدردانی

از همکاری جناب آقای دکتر حسن صدرنیا، استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه فردوسی تشکر و قدردانی می شود.

## ۶. مراجع

1. Kastunen, M, Wiltschko, C, Krenn, H, Scharinger (2006), "Modeling the behaviour of embankment on soft clay with different constitutive models", International journal for Numerical & Analytical Methods Geomechanics, 30:953-982.
2. R. Mellah, G. Auvinet, F. Masrouri. (2000), " Stochastic finite element method applied to non-linear analysis of embankment", Probabilistic Engineering Mechanics 15 (2000) 251-259.
3. Jose Leitaõ Borges, "Three-dimensional analysis of embankment on soft soils incorporating vertical drains by finite element method", Computers and Geotechnics 31 (2004) 665-676.
4. Sari W, Abusharar, Jun-Jie Zheng, Bao-Guo Chen, (2009), " Finite element modeling of the consolidation behavior of multi-column supported road embankment", Computers and Geotechnics 36 (2009) 676-685.
5. Brinkgreve, R, B. (2003). "Plaxis V8. Reference manual". Delft university of Technology. The Netherlands.
- ۶- منصورزاده، محمد- وفائیان، محمود- میرمحمد صادقی، مسعود- " کاربرد نظریه خاک غیر اشباع در پایداری خاکریزها" - پژوهشنامه حمل و نقل، سال پنجم، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۷-۱۳۸۶.
7. Jose Leitaõ Borges, António Silva Cardoso, " Structural behaviour and parametric study of reinforced embankments on soft clays", Computers and Geotechnics 28 (2001) 209-233.
- ۸- مرنندی، سید مرتضی- فیروزی، فرید- " پایداری خاکریزهای کوتاه روی فونداسیون های نرم رسی" - مجموعه مقالات کنفرانس بین المللی سازه های هیدرولیکی - جلد اول- صفحه ۲۵۰-۲۴۳ - دانشگاه شهید باهنر کرمان ۱۳۸۰ و ۱۳ اردیبهشت ۱۳۸۰.
9. Tho X. Tran (2002), " Numerical analysis of an earthfill dam in staged construction on soft subsoil", Proc. Of the XXVIII International Scientific Conference Bratislava, Slovak Republic, pp 280-285.
10. Muni Du Hu, (2007) "Soil mechanics and foundations", John Wiley & Sons. New York, pp 350.
- ۱۱- ابن جلال، رضا- شفاعی بجنستان، محمود- " اصول نظری و عملی مکانیک خاک" - انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز- چاپ پنجم- ۱۳۸۰