



بررسی کاربرد ژئوتکتایل در تسلیح خاک رس به کمک مدل سازی در نرم افزار ABAQUS

سید ابوالحسن نائینی^۱، عیسی علی آقایی شفیعی آبادی^۲

۱- دکترای مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و پی، دانشیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و پی، دانشگاه بین المللی امام
خمینی (ره)

Eisaaliaghahi@gmail.com

خلاصه

امروزه استفاده از مصالح ژئوسنتتیک در فعالیت های ژئوتکنیکی به میزان قابل ملاحظه ای رو به افزایش است. یکی از موارد اصلی کاربرد این مصالح در افزایش مقاومت فشاری خاک رس مسلح شده بوسیله لایه های ژئوتکتایل می باشد. در تحقیق حاضر به بررسی اثر تسلیح خاک رس بوسیله لایه های ژئوتکتایل در افزایش مقاومت فشاری با استفاده از آزمایش سه محوری تحکیم نیافته زهکشی نشده (UU) پرداخته شده است. جهت مدلسازی از نرم افزار ABAQUS 6.11.3 استفاده شده و مدل دراگر پراگر اصلاح شده برای شبیه سازی رفتار تنش کرنش لایه های خاک و مدل الاستیک خطی برای لایه ژئوتکتایل انتخاب گردیده است. در این پژوهش نمونه غیر مسلح و نمونه های مسلح بوسیله لایه های ژئوتکتایل (۱، ۲ و ۳ لایه ژئوتکتایل) به وسیله نرم افزار مدل سازی شده اند. در نهایت به منظور صحت سنجی نتایج از مقاله ای در همین زمینه استفاده شده و نتایج مدل سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی کالیبره شده است.

کلمات کلیدی: خاک رس مسلح، ژئوتکتایل، نرم افزار ABAQUS، آزمایش سه محوری

۱. مقدمه

علیرغم مقاومت مناسب خاک در برابر تنش های فشاری، ضعف این مصالح در برابر تنش های کششی مخاطرات بسیار فراوانی را در پی دارد. لذا از دیرباز استفاده از مصالحی به همراه خاک جهت مقابله با تنش های کششی مطرح بوده است. استفاده از کاه جهت اختلاط با خاک یکی از نمونه های بارز برای برطرف کردن این مشکل خاک در زمان های گذشته می باشد. این تکنیک امروزه با روش های پیشرفته و مصالح مقاومتر نظیر شبکه ها و تسمه های فلزی، الباف مصنوعی و مصالح پلیمری انجام میشود که در اصطلاح خاک مسلح نامیده میشوند. یکی از مصالح پلیمری پرکاربرد در تسلیح خاکها ژئوسنتتیک ها می باشند. دسته ای از ژئوسنتتیک ها که به صورت ورقه های مصنوعی پلاستیکی که در دو حالت بافته شده و بافته نشده تولید میشوند ژئوتکتایل نامیده می شوند. از مهمترین خصوصیت های ژئوتکتایل میتوان به خواص فوق العاده فیزیکی و مکانیکی آنها نسبت به وزن آنها شامل استحکام بالا، نفوذپذیری پائین، مقاومت کششی بسیار بالا و مقاومت بسیار زیاد در برابر سوراخ شدگی اشاره کرد. پایدارسازی خاک بوسیله ژئوتکتایل شامل چهار عملکرد تسلیح، جداسازی، فیلتراسیون و زهکشی میباشد.

از آنجا که انجام آزمایشات همواره با مشکلات و کمبود امکانات مواجه است، استفاده از روش های عددی جهت تکمیل نتایج آزمایشگاهی و انجام مطالعات دقیقتر و در مقیاس های واقعی برای بررسی بیشتر تاثیر المان های مسلح کننده در خاک امری مناسب و قابل قبول می باشد. در تحقیق حاضر جهت بررسی استفاده از ژئوتکتایل در تسلیح خاک رس با استفاده از مدلسازی آزمایش سه محوری تحکیم نیافته زهکشی نشده از نرم افزار المان محدود ABAQUS 6.11.3 استفاده شده است. از مهمترین مزایای این نرم افزار نسبت به سایر نرم افزارهای المان محدود دیگر میتوان به قابلیت گرافیکی بالا در مدلسازی و نتایج خروجی، محیط مدلسازی بسیار پیشرفته سه بعدی و امکان ارتقاء قابلیت های نرم افزار توسط برنامه نویسی و دسترسی به کدهای نرم افزار اشاره نمود.

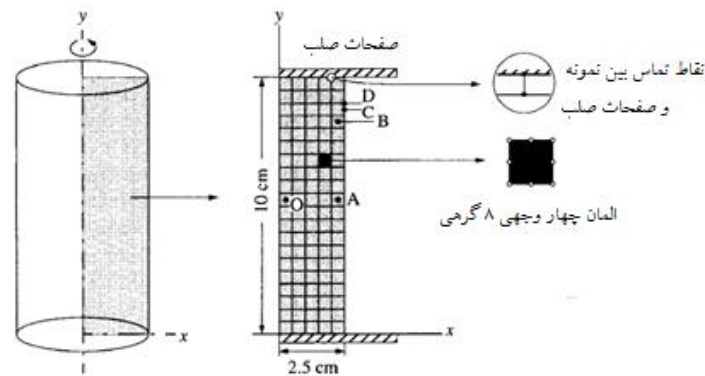
^۱ دکترای مهندسی عمران، دانشیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)



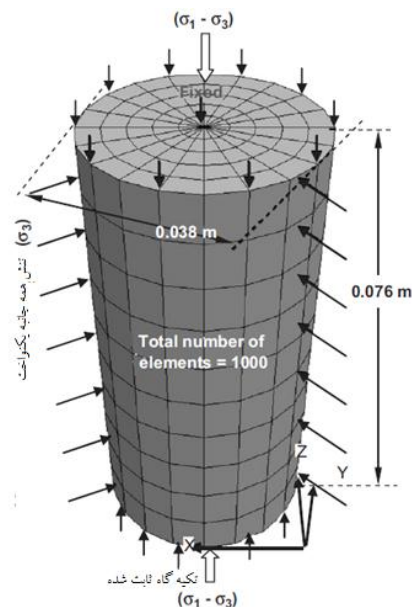
۲. مروری بر کارهای گذشته

شنگ و همکاران (۱۹۹۷) به بررسی اثر تکیه گاه و نرخ کرنش در آزمایشات سه محوری با استفاده از نرم افزار المان محدود Abaqus پرداختند. جهت مدلسازی از المان چهاروجهی هشت گرهی و شرایط تقارن محوری استفاده شده است [۱]. در شکل شماره ۱ مدل استفاده شده در این تحقیق نمایش داده شده است.



شکل شماره ۱- مدل ساخته شده با فرض شرایط تقارن محوری [۱]

سیواکومار و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی عددی تاثیر استفاده از فایبر در تسلیح خاک ماسه ای در آزمایش سه محوری با استفاده از نرم افزار Flac-3D پرداختند. مشاهده شد که استفاده از فایبر باعث افزایش مقاومت برشی ماسه گردیده است [۲]. در شکل شماره ۲ مدل ساخته شده در نرم افزار به همراه مش استفاده شده نمایش داده شده است.

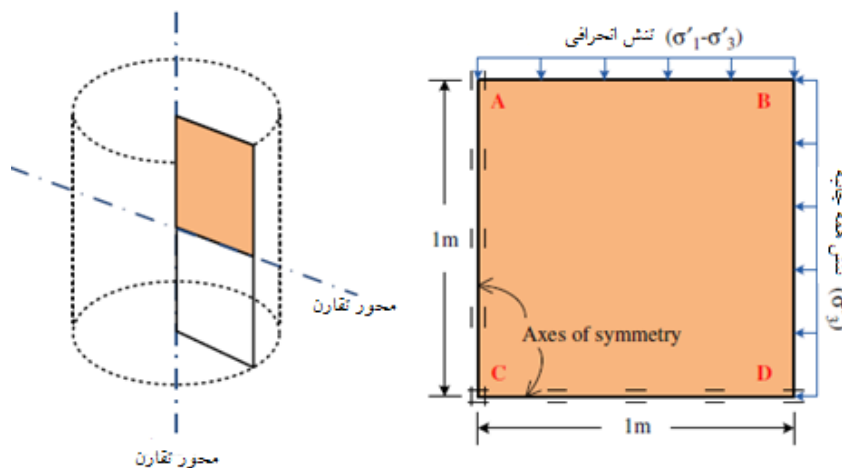


شکل شماره ۲- مدل آزمایش سه محوری ساخته شده در نرم افزار Flac-3D [۲]



صبا و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی اثر عمق جایگذاری ژئوتکتایل بر نسبت ظرفیت باربری (CBR) و تاثیر عمق جایگذاری ژئوتکتایل بر میزان نشست خاک ماسه ای با استفاده از نرم افزار Ansys پرداختند. جهت مدلسازی از المان ۸ گرهی Solid 82 استفاده شد [۳].

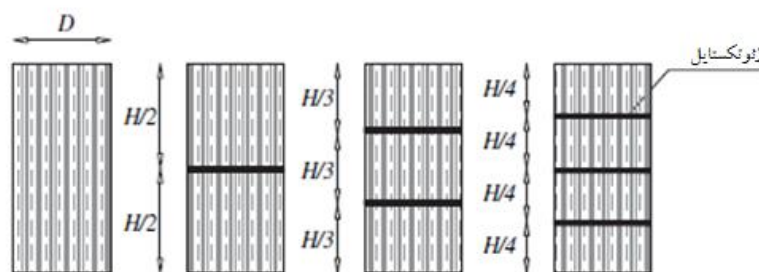
سوراراک و همکاران (۲۰۱۲) از نتایج آزمایشگاهی آزمایشات سه محوری و تحکیم بر روی خاک رس بانکوک با استفاده از نرم افزار المان محدود (Plaxis) جهت تعیین پارامترهای مقاومتی و سختی برای مدل سخت شوندگی خاک استفاده کردند. پارامترهای تعیین شده از پارامترهای مقاومتی و سختی تنش موثر معیار موهر-کولمب می باشند. دو گروه پارامتر برای رس های نرم و سفت بانکوک از آزمایشات سه محوری زهکشی شده و زهکشی نشده با استفاده از نرم افزار المان محدود Plaxis کالیبره شدند [۴]. در شکل شماره ۳ مدل استفاده شده جهت کالیبراسیون نتایج آزمایشگاهی نمایش داده شده است.



شکل شماره ۳- مدل استفاده شده با فرض حالت تقارن محوری [۴]

۳. تسلیح خاک رس بوسیله لایه های ژئوتکتایل

نورزاد و میرمادی (۲۰۱۰) به بررسی اثر تسلیح خاک رس با استفاده از ورقه های ژئوتکتایل پرداختند. بدین منظور نمونه خاک رس در لایه های مختلف با استفاده از ورقه های ژئوتکتایل مسلح شده و تحت آزمایش سه محوری تحکیم نیافته زهکشی نشده قرار گرفتند. در شکل زیر نحوه قرار گیری ورقه های ژئوتکتایل در نمونه های استوانه ای نمایش داده شده است.

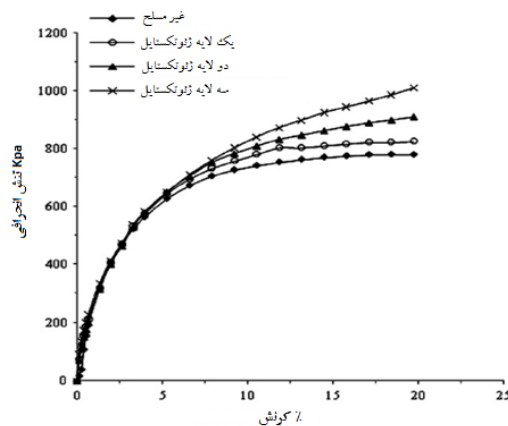


شکل شماره ۴- نحوه قرار گیری ورقه های ژئوتکتایل در نمونه های خاک رس [۵]

تسلیح خاک بوسیله ورقه های ژئوتکتایل باعث افزایش مقدار مقاومت نهایی خاک به میزان قابل توجهی گردید. مقدار افزایش مقاومت نهایی نسبت به نمونه غیر مسلح در فشار همه جانبه ۶۰۰ کیلوپاسکال به ترتیب برابر ۵، ۱۵ و ۲۷ درصد برای نمونه های مسلح شده بوسیله یک، دو و سه



لایه ژئوتکتایل بوده است. در شکل شماره ۵ نمودار تغییرات تنش- کرنش نمونه غیر مسلح و نمونه های مسلح شده بوسیله لایه های ژئوتکتایل تحت فشار همه جانبه ۶۰۰ کیلوپاسکال نشان داده شده است [۵].



شکل شماره ۵- نمودار تغییرات تنش- کرنش نمونه غیر مسلح و نمونه های مسلح شده بوسیله لایه های ژئوتکتایل تحت فشار همه جانبه ۶۰۰ کیلوپاسکال [۵]

آزمایش سه محوری تحکیم نیافته زهکشی نشده در سه فشار همه جانبه ۸۰۰، ۶۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوپاسکال صورت گرفته و مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک برای هر نمونه محاسبه گردیده است. استفاده از ژئوتکتایل باعث افزایش مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک خاک شده است. در جدول زیر میزان تغییرات مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک در اثر تسلیح خاک بوسیله لایه های ژئوتکتایل نشان داده شده است [۵].

جدول شماره ۱- مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک بدست آمده از آزمایش سه محوری UU [۵]

نوع نمونه	چسبندگی (کیلوپاسکال)	زاویه اصطکاک (درجه)
غیر مسلح	۲۵۸	۸/۴
مسلح شده بوسیله یک لایه ژئوتکتایل	۲۷۶	۸/۶
مسلح شده بوسیله دو لایه ژئوتکتایل	۲۹۷	۸/۴
مسلح شده بوسیله سه لایه ژئوتکتایل	۳۲۳	۸/۷

۴. مدل سازی خاک مسلح به ژئوتکتایل در نرم افزار ABAQUS

در تحقیق حاضر چهار آزمایش سه محوری UU تحت فشار همه جانبه ۶۰۰ کیلوپاسکال بر روی نمونه غیر مسلح و نمونه های مسلح شده بوسیله یک، دو و سه لایه ژئوتکتایل مدل سازی شده اند. جهت مدل سازی از نرم افزار ABAQUS 6.11.3 استفاده شده و مدل دراگر پراگر اصلاح شده یا کلاهک برای شبیه سازی رفتار تنش- کرنش لایه های خاک و مدل الاستیک خطی برای لایه ژئوتکتایل انتخاب گردیده است. جهت بدست آوردن پارامترهای مدل کلاهک از روابط زیر استفاده شده است [۶].

$$\theta = \frac{1 - \sin \varphi}{2 - \sin \varphi} \quad (1)$$

$$\tan \beta = \frac{6 \sin \varphi}{3 - \sin \varphi} \quad (2)$$

$$d = \frac{6 c \cos \varphi}{3 - \sin \varphi} \quad (3)$$



که در روابط فوق θ ضریب پواسون، φ زاویه اصطکاک خاک، d پارامتر مربوط به چسبندگی و β پارامتر مربوط به زاویه اصطکاک مصالح می باشند. در جدول شماره ۲ پارامترهای بدست آمده از نتایج آزمایشات و استفاده شده در مدل کلاهک یا دراگر پراگر اصلاح شده و در جدول شماره ۲ پارامترهای مربوط به ژئوتکستایل استفاده شده در مدل مشخص شده است.

جدول شماره ۲- پارامترهای استفاده شده در مدل کلاهک دراگر-پراگر

پارامترهای مدل کلاهک دراگر-پراگر	نمونه غیر مسلح (نرم افزار)	نمونه غیر مسلح (آزمایشگاهی)
E: مدول یانگ (کیلو پاسکال)	۱۹۰۰۰	۲۰۸۳۳
θ : ضریب پواسون	۰/۴۶	۰/۳
β : پارامتر وابسته به زاویه اصطکاک مصالح (درجه)	۱۷/۰۷	۸/۴
d: پارامتر مربوط به چسبندگی مصالح (کیلو پاسکال)	۵۳۶/۶	۲۵۸
R: خروج از مرکزیت کلاهک مدل	۰/۸	-
K: ضریب جریان تنش	۰/۹	-

جدول شماره ۳- مشخصات ژئوتکستایل [۶]

نام تجاری	Husker-B40
نوع ساخت	بافته نشده
مقاومت نهایی کششی (کیلو نیوتن بر متر)	۱۲/۵
کرنش در مقاومت نهایی کششی (%)	۳۰
مقاومت CBR (نیوتن)	۲۲۵۰

ابعاد نمونه آزمایشگاهی برابر ۳۸ میلیمتر (قطر) و ۷۶ میلیمتر (ارتفاع) می باشد. جهت مدلسازی از حالت دو بعدی و با فرض برقراری حالت تقارن محوری استفاده شده است، لذا ابعاد نمونه در نرم افزار به صورت ۱۹ میلیمتر (قطر) و ۷۶ میلیمتر (ارتفاع) ترسیم شده است. جهت ایجاد شبکه مش از المان چهار وجهی ۸ گرهی استفاده شده است. نمونه تحت فشار همه جانبه ۶۰۰ کیلو پاسکال قرار گرفته و تغییر مکان به اندازه ۲۰٪ ارتفاع نمونه در راستای قائم جهت ایجاد تنش انحرافی اعمال شده است. در شکل شماره ۶ مدل ساخته شده با فرض تقارن محوری و شبکه مش ترسیم شده نمایش داده شده است.

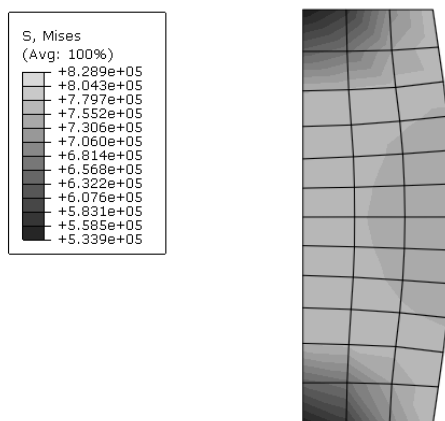


شکل شماره ۶- مدل تقارن محوری و مش مورد استفاده

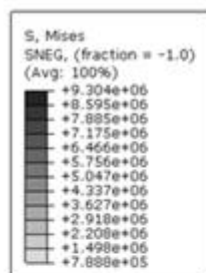


۵. نتایج

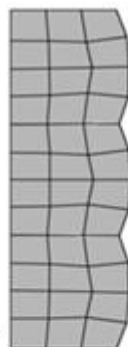
جهت اعمال شرایط بارگذاری به صورت قائم به عنوان تنش انحرافی تغییر مکان به میزان ۲۰٪ ارتفاع نمونه برابر ۰/۱۵۲ میلیمتر تعیین گردید. پس از تحلیل نرم افزار کانتورهای تنش Mises به عنوان مقادیر تنش انحرافی از نرم افزار استخراج گردید. در شکل شماره ۷ کانتورهای تنش در نمونه مغیر مسلح و در شکل شماره ۸ کانتورهای تنش در نمونه های مسلح شده بوسیله لایه های ژئوتکستایل (۲،۱ و ۳ لایه) نمایش داده شده است.



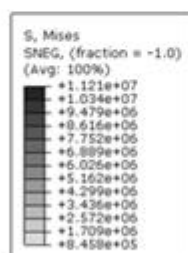
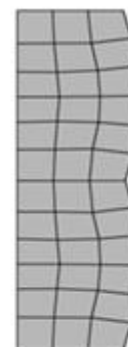
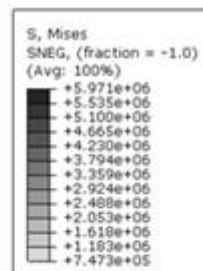
شکل شماره ۷- کانتور های تنش در نمونه غیر مسلح



ب. نمونه مسلح شده بوسیله دو لایه ژئوتکستایل



الف. نمونه مسلح شده بوسیله یک لایه ژئوتکستایل



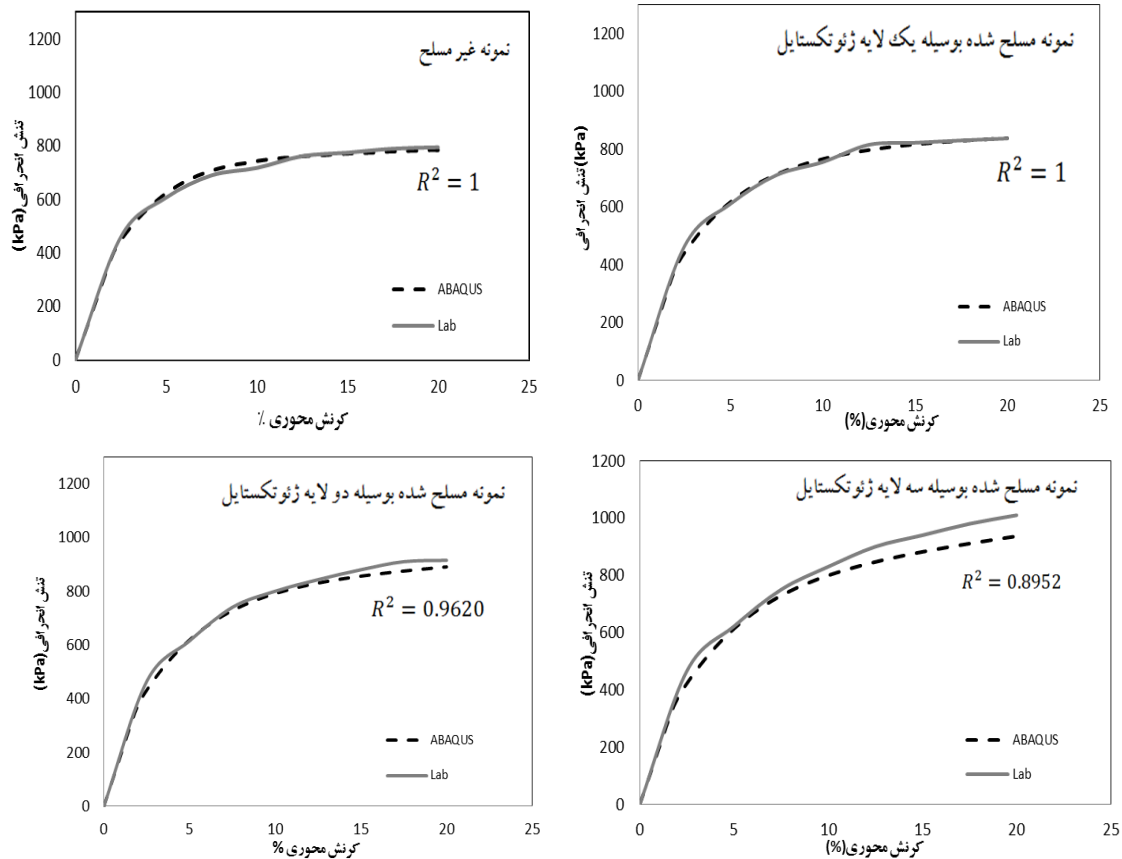
ج. نمونه مسلح شده بوسیله سه لایه ژئوتکستایل

شکل شماره ۸- کانتورهای تنش در نمونه های مسلح شده بوسیله لایه های ژئوتکستایل

همانطور که در اشکال فوق مشاهده می شود، گسیختگی در نمونه ها از نوع خمیر ای بوده که در نواحی قرار گیری لایه های ژئوتکستایل روند تغییر حجم نمونه متوقف شده است. بدین معنی که ژئوتکستایل مانع گسترش گسیختگی و در نهایت منجر به افزایش مقاومت نمونه گردیده است.



جهت مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و مدل نرم افزار نمودارهای تغییرات تنش-کرنش برای نمونه غیر مسلح و نمونه های مسلح شده بوسیله لایه های ژئوتکتایل ترسیم گردید. در شکل شماره ۹ نمودارهای تغییرات تنش-کرنش بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی و نرم افزار نشان داده شده است.



شکل شماره ۹- نمودار تغییرات تنش-کرنش بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی و نرم افزار

همانطور که در شکل فوق مشاهده می شود، نتایج بدست آمده از مدل نرم افزاری در مقایسه با نتایج بدست آمده از نمونه های آزمایشگاهی دارای همپوشانی به میزان مناسب می باشد. با افزایش تعداد لایه های ژئوتکتایل مقدار خطا در نتایج مدل عددی افزایش یافته که بیشترین مقدار خطا مربوط به نمونه مسلح شده بوسیله سه لایه ژئوتکتایل می باشد.

۱۰. نتیجه گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از نرم افزار ABAQUS آزمایش سه محوری UU بر روی نمونه غیر مسلح و نمونه های مسلح بوسیله لایه های ژئوتکتایل (۲، ۱ و ۳ لایه ژئوتکتایل) مدل سازی گردید. نتایج حاصل از نتایج مدل نرم افزاری بیانگر تاثیر قابل قبول ژئوتکتایل در افزایش مقاومت نهایی خاک رس می باشد. با افزایش تعداد لایه های ژئوتکتایل میزان افزایش مقاومت نهایی بیشتر شده و بیشترین افزایش مقاومت نهایی در نمونه مسلح شده با سه لایه ژئوتکتایل به میزان ۲۷٪ می باشد. همچنین نتایج بدست آمده نمایانگر توانایی بالای نرم افزار ABAQUS در مدل سازی مسائل ژئوتکنیکی بوده و با توجه به محدودیت ابعاد در تجهیزات آزمایشگاهی می توان از مدل سازی با ابعاد و مقیاس واقعی در نرم افزار جهت بررسی تاثیر دقیقتر مصالح مسلح کننده در خاک استفاده نمود.



۱۲. مراجع

1. D. Sheng, B. Westerberg, H. Mattsson & K. Axelsson. (1997), "Effects of End Restraint and Strain Rate in Triaxial Tests," Computer and Geotechnics, Vol 21, No 3, pp. 163-182.
2. G.L. Sivakumar Babu, A.K. Vasudevan, Sumanta Haldar. (2008), "Numerical simulation of fiber-reinforced sand behavior", Geotextiles and Geomembranes 26 (2008) 181-188.
۳. حمیدرضا صبا، فرهاد افتخارزاده، جمیله سادات حسینی صابر، امیر اسماعیل فروهید. (۱۳۹۰)، "بررسی کاربرد ژئوتکستایل در تسلیح خاک ماسه ای به کمک مدل سازی در نرم افزار Ansys"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران ایران، دانشگاه سمنان، سمنان.
4. Chanaton Surarak, SuchedLiktlersuangb,n, DariuszWanatowskic, Arumugam Balasubramaniama, ErwinOha, HongGuan. (2012), " Stiffness and strength parameters for hardening soil model of soft and stiff Bangkok clays " Soils andFoundations2012;52(4):682-697.
5. Noorzad, R., Mirmoradi, S.H. " Laboratory evaluation of the behavior of the geotextile clay" Geotextiles and Geomembranes, 28, pp 386-392, 2010.
6. Analysis User's Manual of ABAQUS, Volume III, Materials.