



## کاربرد ژئوفوم بعنوان مصالح نوین در دیوارهای حائل طره‌ای

سعید غفارپور جهرمی<sup>1</sup> مسعود مقامی فرد<sup>2</sup>

1- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران

Saeed\_ghf@srttu.edu

2- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران

Maghami959@gmail.com

### چکیده

این مقاله کاربرد ژئوفوم را در کاهش فشار جانبی زمین بر روی دیوارهای دانه‌ای حایل طره‌ای و خاکریزهای خشک بررسی می‌کند. نتایج آزمایش‌های مدل فیزیکی با عنوان رفتار دیوارهای حایل طره‌ای ساخته شده با پلی‌استایرن منبسط شونده و اثر انعطاف پذیری نسبی دیوار و مشخصات خاکریز دانه‌ای و ژئوفوم روی رانش محرک خاک در این مقاله بررسی شده است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که شکل دیاگرام توزیع فشار فعال پشت یک دیوار حایل طره‌ای غیرخطی است و تغییرات به انعطاف پذیری دیوار و خصوصیات لایه قابل تغییر بستگی دارد. ژئوفوم باعث کاهش فشار جانبی خاک می‌شود به این طریق که به همان اندازه که سهم مثبت بافر قابل تراکم کاهش می‌یابد به همان اندازه انعطاف پذیری نسبی دیوار افزایش می‌یابد. کاهش بارهای جانبی خاک به شکل ناحیه گسیختگی بستگی دارد که می‌تواند پهن، غیرخطی و پایدار باشد. آنالیزهای عددی پارامتری به منظور بسط محاسبه ضریب فشار جانبی خاک برای ترکیبات مختلف خاکریز، ظرفیت شکل پذیری و خواص ساختاری اجرا می‌شود. براساس نتایج بدست آمده از آنالیزهای عددی نمودارها و مدل‌های رگرسیون طراحی شده که ضریب فشار جانبی خاک و بار جانبی روی دیوارهای حایل طره‌ای قابل انعطاف خاک با و بدون لایه‌های ژئوفوم شکل پذیر را نشان می‌دهد.

**کلمات کلیدی:** ژئوفوم، دیوار حائل، فشار جانبی، تحلیل عددی، مدل فیزیکی

### 1. مقدمه

سال‌ها تجربه عملی با ژئوفوم پلیمری ثابت کرده است که ژئوفوم پلیمری وقتی در عملیات خاکی استفاده می‌شود می‌تواند در مقابل فشارهای جانبی و عمودی مقاومت کند. ثبات، دوام و مقاومت در برابر رطوبت و تخریب از خصوصیات برتر شناخته شده ژئوفوم است. از آنجایی که جرم حجمی و واکنش تنش کششی ژئوفوم در مرحله تولید براساس کاربردهای مختلف قابل تنظیم است، ژئوفوم پلیمری می‌تواند یک جایگزین موثر برای مواد متداول باشد. استفاده چند منظوره از ژئوفوم در پروژه‌های مهندسی زمین شناسی شامل روسازی و خاکریزی سبک، کاهش فشار جانبی استاتیکی خاک روی ساختارهای حایل صلب و تسلیم ناپذیر، کاهش صدا و لرزه،

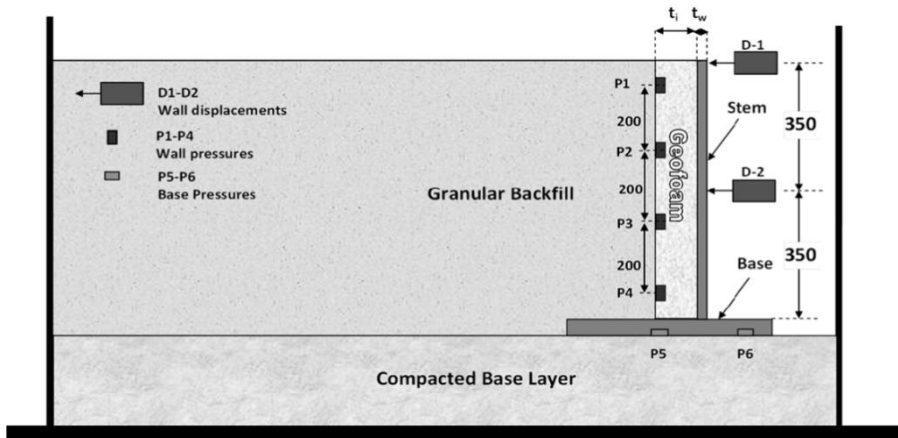


تعادل شيروانی، کاهش نیروهای لرزه خیزی روی دیوارهای حایل و جبران فشارهای عمودی و جانبی در اثر تورم خاک می باشد. ژئوفوم با سختی کمتر بر خلاف ساختار حایل صلب این توانایی را دارد که تحت فشار جانبی خاک اعمال شده توسط جرم خاک و ساختار حایل تغییر شکل دهد. فرایند کنترل تسلیم اجازه تغییر شکل جانبی جرم خاک را میدهد و خاک را به مرحله گسیختگی فعال نزدیک می کند. مطالعات عددی برپایه آنالیزهای اجزای محدود کاهش بار استاتیکی روی دیوارهای صلب را که در این مقاله گزارش شده عنوان می کند. ترندافیر آنالیزهای اجزای محدود را برای بررسی عملکرد ژئوفوم برای کاهش بار جانبی در مقابل دیوارهای صلب اجرا کرد. این نتایج در یک نمودار گردآوری شده است که توزیع فشارهای جانبی و ضریب جداکننده ژئوفوم را نشان میدهد. در مطالعه اخیر ارتوگول و ترندافیر نشان دادند نتایج عددی حاصل، از نتایج آنالیز اجزای محدود جامع تر است. نتایج آنالیزهای عددی نشان می دهد که در حضور صفحه ای از ژئوفوم با سختی کمتر در داخل دیوار حایل فوقانی با ارتفاع متوسط پیشرفت در اجرای جداکننده با بارگذاری تراکم پذیر را فراهم می کند به خاطر اینکه تغییر شکل های وابسته به فشار جانبی نرم تر در این ناحیه سبب اضافه مقاومت در جرم خاک حایل شده می شود. این موضوع قابل توجه است که بیشتر مطالعات به استفاده از ظرفیت تراکم پذیری پشت ساختار حایل خاک می پردازند که به انعطاف پذیری مواد خاکریز در برابر دیوارهای غیرقابل انعطاف صلب بستگی دارد. از آنجایی که انعطاف پذیری دیوار حایل نگهدارنده نقش مثبتی در کاهش فشار خاک ایفا می کند، جابجایی خاکریز به حرکات خمشی دیوار که ممکن است فشارهای جانبی را کاهش دهد بستگی دارد. ظرفیت تغییرناپذیر ممکن است به کاهش اضافی در رانش جانبی که به خاطر مکانیسم طاق زنی ویژه است منجر شود که این عمل توسط تغییر شکل ناهمگن مواد تراکم پذیر ایجاد می شود. آنالیز اجزای محدود ممکن است تخمین خوبی برای نیروهای جانبی فراهم نیارد، به خاطر اینکه اثر حرکات دیوار و اثرقوسی در خاکریز وارد می شود که سبب ایجاد حالت غیرخطی در پروفیل های جانبی می شود.

## 2. فرآیند تحقیق

در این مقاله از نتایج تست فیزیکی در ارتفاع 0.7 متری دیوار حایل طره ای، ظرفیت ژئوفوم شکل پذیر و سیستم خاکریز دانه ای خشک که توسط ارگولار و ترندافیر انجام شده، استفاده شده است. ظرفیت ژئوفوم شکل پذیر از فوم EPS و XPS روزنه دار صلب پلی استایرن که بین دیوار و خاکریز خشک روزنه دار نصب شده تشکیل شده است. در طول آزمایش توسط آن دو، جابجایی دیوارهای مدل شده و فشارهای جانبی خاک در ارتفاع های متفاوت در سرتاسر تهِ دیوار مورد بازبینی قرار گرفته اند. براساس داده های آزمایش، شکل پروفیل های فشار جانبی زمین و ضریب فشار زمین برای دیوارهای حایل که دارای انعطاف پذیری و خصوصیات گنجایشی ژئوفوم متفاوت هستند، تخمین زده شده است. در ادامه این مقاله نیز آنالیزهای عددی توسط FLAC صریح 2 بعدی اجرا می شود. اطلاعات برای تایید کد متغیر محدود شامل توزیع فشار جانبی و جابجایی های

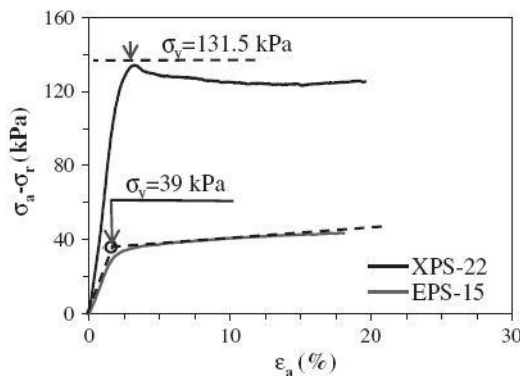
دیوار مشاهده شده در آزمایش های مدل فیزیکی ارگولار و ترندافیر به کار می روند. استفاده از کد عددی معتبر و آنالیزهای پارامتری برای بررسی اثر ارتفاع دیوار، خصوصیات مقاومت خاکریز، ویژگی های ژئوفوم شکل پذیر و صلیبیت ساختار دیوار حایل انعطاف پذیر در فشارهای جانبی و کاربرد رانش خاک به کار می رود.



شکل (1): یک نما از سطح مقطع مورد آزمایش توسط ارگولار و ترندافیر.

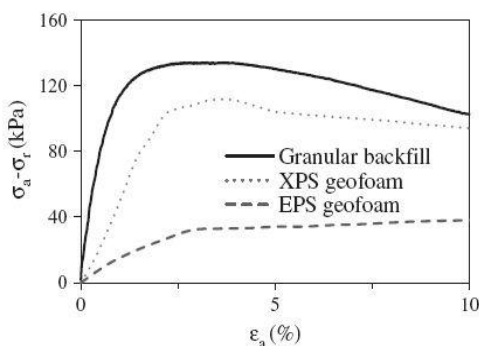
### 3. ژئوفوم XPS و EPS

ژئوفوم EPS و XPS توسط دانسیته  $15\text{kg/m}^3$  و  $22\text{kg/m}^3$  توصیف شده است که در آزمایش های مدل فیزیکی مورد استفاده قرار گرفته اند. رفتارهای تنش- کرنش تک محوری مواد در طی آزمایش های به هم فشرده تک محوری تعیین می شوند. آزمایش بارگذاری مونوتونیک تک محوری در یک نسبت کرنش محوری  $0.01/\text{min}$  اجرا می شود که سازگار با نسبت بارگذاری صفحات ژئوفوم در طول فرایند خاکریزی مدل دیوار حایل به ارتفاع 700mm است. در شکل 2 تنش انحرافی نشان داده شده است. نیرو تسلیم ژئوفوم EPS طبق روش مگنان و سراتیک 39kp است. EPS یک رفتار تنش- کرنش دو خطی را نشان می دهد که مربوط به یک کاهش در مدول پانگ با کرنش محوری بیش تر از 1٪ می باشد.



شکل (2): تنش انحرافی

مدول های یانگ توصیف شده در بخش اول الاستیک خطی با خم تنش- کرنش حدود 1500kp تعیین شده است. منطقه الاستیک خطی تقریباً 2٪ کرنش فشرده دارد و مدول های یانگ بخش الاستیک را توصیف می کنند که 5580kp به دست آمده اند. آزمایش 3 محوری زهکش شده تحکیم یافته روی ژئومتریال تحت تنش های فشارزای متفاوت و رنجهای بارگذاری متفاوت اجرا شده است. رفتار تنش-کرنش مواد با  $\sigma_r=20\text{kp}$  و کرنش  $0.01\%/min$  در شکل 3 نشان داده شده است. مشاهده شده که نیروی تسلیم و مدول الاستیک ژئوفوم XPS و EPS کمتر از آنهایی هستند که مواد خاکریز دانه ای دارند در صورتیکه محدوده کرنش الاستیک ژئوفوم در مقایسه با مواد خاکریز بیشتر است.



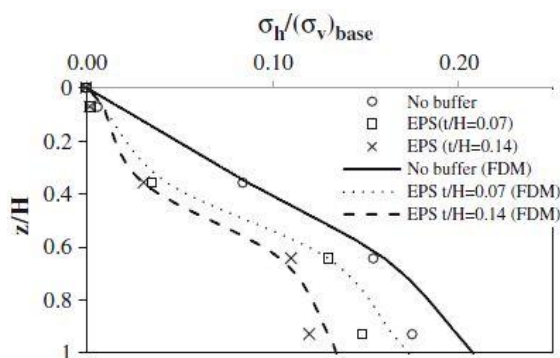
شکل (3): مقایسه رفتار تنش-کرنش مواد خاکریز دانه ای با  $\sigma_r=20\text{kp}$  (میزان کرنش  $0.01\%/min$ )

#### 4. مدل عددی

در آنالیز عددی دیوار حایل طره ای انعطاف پذیر غیرقابل انتقال که روی یک لایه خاک سخت ساکن است مدل شده است. برای آنالیز عددی کرنش صفحه دوبعدی دیوار طره ای با ظرفیت شکل پذیر از نرم افزار FLAC 2D ورژن 6 استفاده شده است. فشارهای جانبی زمین و جابجایی ها در طول آزمایش های فیزیکی برای درجه بندی و معتبرسازی مدل متغیر محدود به کار می رود.

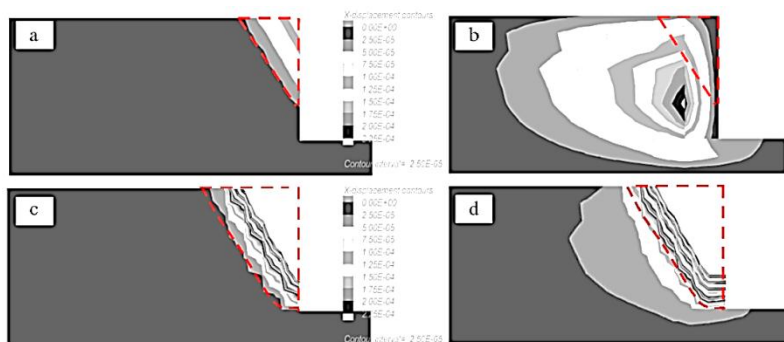
روش مدلسازی عددی و فرایند درجه بندی که هدفشان نظیر کردن تنش های محاسبه شده و اطلاعات آزمایش است شبیه به همان هایی هستند که ارگولار و ترندافیر توصیف کرده اند. شرایط مرزی برای آنالیز متغیر محدود شامل جابجایی های عمودی و افقی گیردار در طول مرز افقی پایین و جابجایی افقی گیردار در طول مرز عمودی روی خاکریز و اطراف خاک زیرین می باشد. خاک حایل و لایه فنداسیون همانگونه که مواد پلاستیک الاستوایزوتروپیک همگن توسط عامل تسلیم موهر-کلمبو توصیف شده مدل شده اند. زاویه اصطکاک داخلی و زاویه انبساط پذیری برپایه اطلاعات آزمایش 3 محوری انتخاب شده اند. برای تمام مراحل ژئومتری یک مقدار چسبندگی اسمی برای افزایش مقاومت حل عددی اتخاذ می شود. تهنه دیوار و پایه آن در آزمایش فیزیکی استفاده

می شوند که برای المان های تیرالاستیک مدل شده اند. یک اتصال صلب بین تنه دیوار و صفحه پایه به منظور شبیه سازی رفتار طره ای در نظر گرفته شده است. خصوصیات المان های سطح مشترک موهر-کلمبو، الاستوپلاستیک در اتصالات دیوار و ژئوفوم، دیوار و فنداسیون، خاکریز و دیوار، خاکریز و فنداسیون و ژئوفوم و خاکریز نشان داده شده اند. برای المان های سطح مشترک بین تنه دیوار و خاکریز دانه ای زاویه اصطکاک 35 درجه اتخاذ شده است، در حالیکه سطح مشترک خاک فنداسیون و پایه دیوار مدل شده، زاویه اصطکاک 42 درجه برای آن استفاده شده است. زاویه اصطکاک سطح مشترک بین تنه دیوار-ژئوفوم و خاکریز-ژئوفوم 15 و 24 درجه طبق نتایج آزمایش بدست آمده اند. برای تشخیص توانایی مدل عددی برای برگرداندن اطلاعات آزمایش، فشار دیوار توسط متد متغیر محدود پیش بینی می شود که با پروفیل های تنش به دست آمده در آزمایش های فیزیکی مقایسه می شود. براساس مقایسه های نشان داده شده در شکل 4 مدل عددی فشارهای داخل دیوار را براساس قرارداد مناسب پیش بینی می کند.



شکل (4): مدل عددی فشارهای داخل دیوار

پروفیل های تنش جانبی در آزمایش های فیزیکی به طور رضایت بخش با مدل عددی ثبت شده اند به جز در نزدیکی های پایه دیوار. محاسبات در بهترین حالت در اطلاعات آزمایش فیزیکی بیشتر از 80٪ ارتفاع دیوار است در صورتیکه برای 20٪ باقی مانده ارتفاع دیوار مدل عددی اطلاعات آزمایش را ناچیز می شمارد. در نتیجه بحث ارگولار و ترندافیر پارامترهای سطح مشترک در پایه دیوار توسط قربانی کردن نتایج در بخش کوچک قرار داده شده در نزدیکی پایه دیوار تنظیم شده اند. درصد کاهش پیش بینی شده کمی بیشتر از مقدار واقعی است. در شکل 5، a و b خطوط همبار جابجایی جانبی برای یک دیوار تقریباً صلب با ظرفیت ژئوفوم نسبتاً ضخیم  $t_1/H=0.14$  با دیوار حایل بدون ظرفیت ژئوفوم مقایسه شده است. همانگونه که در شکل 10 مشاهده می شود اثر کماتش مثبت در خاک حایل القا میشود که این کار توسط تراکم جانبی ظرفیت ژئوفوم صورت می گیرد و در یک منطقه پهن تر، عمیق تر و مقاوم تر به اوج خود می رسد که با یک سطح برشی خمیده ترسیم شده است.



شکل (5): اثر کمناش مثبت در خاک حایل.

مرزهای قطاع گسیختگی مثلثی کوچکتر که نواحی گسیختگی فعال را درون خاکریز برای دیوار بدون ظرفیت ژئوفوم مشخص می کنند در شکل 5 در کنار قطاع گسیختگی متناظر با دیوار حایل تقریباً صلب با ظرفیت تراکم پذیری نشان داده شده اند. به طور مشابه نواحی گسیختگی متناظر با مدل انعطاف پذیر در شکل 5-C نشان داده شده اند. همانند مرحله قبل مشاهده شده است که کاهش بار جانبی زمین برای حالت مدل انعطاف پذیر به شکل پهن تر، غیرخطی و مقاوم تر ناحیه گسیختگی بستگی دارد.

از آنجایی که ژئوفوم XPS نیرو تسلیم و محدوده کرنش الاستیک بیشتری دارد، استفاده از ژئوفوم XPS صلب تر ممکن است خاکریز جانبی کمانی و کاهش بار را برای ساختارهای حایل در جایی که بار جانبی بیشتری به خاطر افزایش ارتفاع خاکریز و اثر بار زنده در نزدیکی دیوار انتظار می رود، فراهم کند.

## آنالیز پارامتری

## 5.

اطلاعات آزمایش و پیش بینی های آنالیز عددی نشان می دهد که پروفیل های فشار روی ساختار حایل با ظرفیت ژئوفوم شکل پذیر غیرخطی است در حالیکه اثر کمانی به ظرفیت شکل پذیری و جابجایی خمشی دیوار، که دیده شده منجر به توزیع مجدد تنش داخل خاکریز می شود ربط دارد. آنالیزها برای دیوارهای با صلبیت متفاوت تکرار می شوند تا عملکرد کاهش بار-ظرفیت ژئوفوم شکل پذیر نصب شده در مقابل ساختار حایل خاک طره ای با ضخامت های متفاوت تشخیص داده شود. مجموع 700 آنالیز عددی اجرا شده، تا اثر ترکیب پارامترهای مختلف را روی عملکرد ظرفیت شکل پذیری ژئوفوم بررسی کنند. ظرفیت شکل پذیری مدل شده در آنالیز عددی به صورت EPS-18 و EPS-26 مشخص می شود. مدول الاستیک ژئوفوم EPS از میانگین معادلات 1 تا 4 که به ترتیب توسط هرواث، دوسکاو، هازاریکا و اسا و رومو پیشنهاد شده اند بدست می آید.

$$(1) E_g (MPa) = 0.45\rho_{EPS} - 3.0$$

$$(2) E_g (MPa) = 16.431 - 1.645\rho_{EPS} + 0.061\rho_{EPS}^2$$

$$(3) E_g (MPa) = 0.41\rho_{EPS} - 2.8$$

$$(4) E_g (MPa) = -1.111 + 0.397\rho_{EPS} - 0.029\sigma_3 + 0.054s$$

$E_g$  مدول یانگ بخش الاستیک سختی تنش- کرنش در MPa است،  $\rho_{EPS}$  چگالی ژئوفوم با واحد  $kg/m^3$  است،  $3\sigma$  تنش فشارزا و  $s$  نسبت بارگذاری است. به طو رمشابه نسبت پواسون EPS18 و EPS26 در حدود 0.1243 و 0.1595 تعیین شده است که در معادله 5 و 6 به ترتیب توسط هورواث و اسا و شده است.

$$(5) v_g = 0.0056\rho_{EPS} \left(\frac{kg}{m^3}\right) - 0.0024$$

$$(6) v_g = 0.475 - 0.0144\rho_{EPS} \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

نیروی تراکم ژئوفوم حدود 45kpa و 92kpa برای EPS18 و EPS26 تخمین زده شده است. درصد کاهش ظرفیت باربری ژئوفوم  $t_1/H=0.05$  و  $t_1/H=0.1$  است. عامل لگاریتمی با نقاط اطلاعات به منظور مقایسه متغیر در طرح کاهش بار برای ارتفاع های مختلف دیوار تنظیم شده است. مشاهده شده است که درصد کاهش بار-ظرفیت ژئوفوم برای ارتفاع های متفاوت دیوار تغییر نمی کند، که این باعث می شود فشارها روی ظرفیت ژئوفوم و تنش تسلیم مواد پایین باقی بماند. نتایج آنالیز FDM نشان می دهد که سطوح کرنش متراکم در ظرفیت ژئوفوم در پایه دیوار با ارتفاع 4 متر زیر 1٪ است، که این مقدار کمتر از کرنش متراکم در تسلیم فراهم شده از آزمایش بی محور روی ژئوفوم EPS می باشد. بدین گونه فرضیه الاستیک خطی معتبر می شود. ماکسیمم فشار سکون خاک که منجر به خاکریز دانه ای در پایه ساختار حایل با ارتفاع 4 متر می شود، حدودا طبق معادله جک 44kpa می باشد، پس کوچکتر از تنش تسلیم ژئوفوم EPS18 و EPS26 میشود. از آنجایی که ظرفیت ژئوفوم تحت تسلط فشارهای داخل محدوده الاستیک است، سازگاری خصوصیات مواد خطی الاستیک برای رفتار مدل ژئوفوم کافی است.

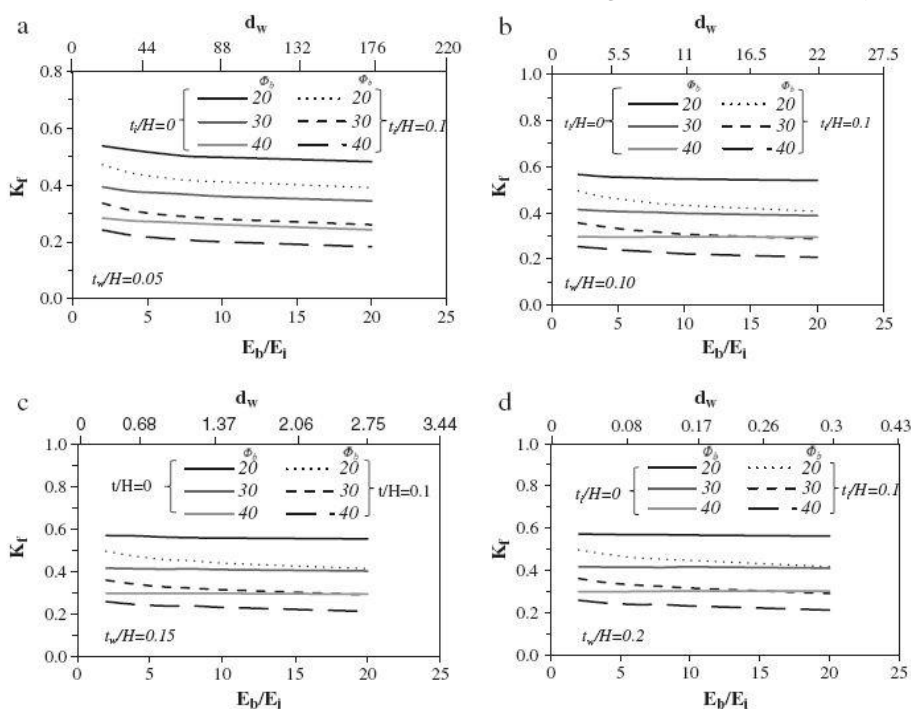
## 6. بحث روی نتایج بدست آمده از آنالیزهای پارامتری

بر اساس نتایج بدست آمده از آنالیز های عددی، اثر ترکیب پارامترهای مختلف روی محاسبات قبلی ضریب فشار جانبی زمین برای دیوارهای انعطاف پذیر با و بدون ظرفیت ژئوفوم تغییر شکل پذیر بررسی می شود. توزیع غیرخطی فشار در مقابل دیوار حایل طره ای با یک توزیع خطی هم ارز از طریق مقدار استفاده شده،  $Ph$  که رانش جانبی محاسبه شده در طی آنالیزهای عددی است نشان داده می شود. انعطاف پذیری نسبی دیوار توسط تغییر صلبیت دیوار در صورتیکه مدول الاستیک خاکریز دانه ای 25000kpa باشد ثابت می ماند. مشاهده شده که ضریب فشار، بیشتر به انعطاف پذیری نسبی دیوار و زاویه اصطکاک داخلی خاکریز دانه ای بستگی دارد. سختی نسبی نقش مهمی در مقدار  $E_i/t_i$  دارد. بیشتر گرافهای تسلیم یافته، اثر ترکیب ساختار و خصوصیات ژئومتری روی ضریب فشار خاک جانبی برای دیوار حایل طره ای با و بدون ظرفیت ژئوفوم شکل پذیر را اثبات می کنند. در این شکل ها مقدار  $K_f$  برای نسبت های  $E_i/E_j$  متفاوت می باشد که اثر مدول الاستیک خاکریز روی نیروی جانبی

زمین را نشان می دهد. در گوشه بالای شکل 6 مقادارهای  $d_w$  نشان داده شده اند زیرا انعطاف پذیری نسبی دیوار به مقدار  $E_b/E_i$  بستگی دارد. ضریب فشار جانبی دیوار با و بدون ظرفیت ژئوفوم شکل پذیر با خطوط پر نشان داده شده است، در حالیکه خطوط فاصله دار مقدار  $K_f$  را برای دیوارها با صفحه شکل پذیر نشان می دهند. مقایسه ها می تواند باعث توجه به ضریب کاهش نیروی جانبی صفحه ژئوفوم برای  $E_b/E_i$  متفاوت و استفاده ترکیبی  $d_w$  شود. یک ارتباط غیرخطی بین نسبت  $E_b/E_i$  و مقادارهای  $K_f$  از پیش محاسبه شده مشاهده شده است. درصد کاهش در ضریب فشار جانبی زمین تقریباً بین 15 و 30 درصد تغییر می کند، که به نسبت  $E_b/E_i$  بستگی دارد. این درصد وقتی نسبت  $E_b/E_i$  افزایش یابد زیاد می شود، در حالیکه بیشتر از  $E_b/E_i=10$  این درصد تغییر چشمگیری نمی کند. براساس اطلاعات بدست آمده از آنالیز عددی، معادله رگرسیون زیر برای محاسبه مقدار  $K_f$  برای دیوارهای قابل انعطاف بدون ظرفیت شکل پذیر استفاده می شود.

$$(7) K_f = \beta_1 + \beta_2 d_w + \beta_3 \phi_b (^\circ)$$

ضریب رگرسیون  $\beta_1=7.96894 \times 10^{-1}$ ،  $\beta_2=-4.76034 \times 10^{-4}$  و  $\beta_3=-1.24963 \times 10^{-2}$  برای محدوده پارامتری  $0.6 < d_w < 220$  می باشند.



شکل (6): ضریب فشار جانبی در حالت های مختلف

همچنین یک مدل ریاضی غیرخطی برای محاسبه ضریب فشار زمین برای دیوارهای قابل انعطاف با ظرفیت ژئوفوم شکل پذیر در محدوده های قبل به وجود آمده است. فرم ریاضی مدل غیرخطی اینگونه است:



$$(8) (K_f)_d = \frac{\alpha_1 (E_i/t_i) - \phi_b^{(0)}/\alpha_5}{1 + \alpha_2 d_w + \alpha_3 (E_i/t_i) + \alpha_4 \phi_b^{(0)}}$$

در معادله ی 8 مقدار  $E_i$ ،  $t_i$  و  $\Phi_b$  به ترتیب برحسب MPA متر و درجه است. انعطاف پذیری نسبی بدون بعد است و هر واحد مناسب را می توان برای محاسبه  $d_w$  که در معادله ی 8 آمده است به کار برد. این مدل می تواند نشان دهد که  $R_2=0.976$  است. ارتفاع نقطه کاربردی برای رانش جانبی توسط ارتفاع نرمال شده است. ارتفاع نرمال شده بین 0.28 و 0.35 برای مقدار  $\Phi_b$  تغییر می کند. اختلاف بین نقاط لازم برای دیوارها با و بدون ظرفیت ژئوفوم شکل پذیر با کاهش  $\Phi_b$  افزایش می یابد. نقاط کاربردی با افزایش صلیبت دیوار بالا می رود. ظرفیت شکل پذیری و انعطاف پذیری دیوار منجر به کاهش ارزیابی نقاط کاربردی برای نیروی جانبی می شود. برای تخمین نقاط نرمال شده کاربردی نیروی جانبی برای محدوده ای که قبلا گفته شد، معادله رگرسیون زیر به کار می رود:

$$(9) \frac{h}{H} = \lambda_1 + \lambda_2 d_w + \lambda_3 \frac{E_i}{t_i} + \lambda_4 \phi_b^{(0)}$$

این معادله می تواند برای پیش بینی نقاط کاربردی برای دیوارهای انعطاف پذیر با و بدون ضخامت شکل پذیری استفاده شود. مطالعات دقیق مربوط به اثر اصطکاک سطحی نشان می دهد که نسبت  $\sigma/\beta$  نقش مهمی را در نقاط کاربردی ژئوفوم ایفا می کند، در حالیکه نیروهای اصطکاک اعمال شده بین دیوار و سطح مشترک ژئوفوم-خاکریز، جابجایی اعمال شده توسط طاق زنی خاک را تغییر می دهد.

## 7. خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله یک مدل عددی برای اجرای یک مطالعه پارامتری به منظور محاسبه اثر یک پارامتر روی فشار جانبی زمین که به صورت دیوار حایل انعطاف پذیر و طره ای عمل می کند، استفاده شده است. آنالیزها طبق مدل های FDM 2D FLAC اجرا شده اند. اثرات مقاومت خاکریز و مدول های الاستیک همانند سختی و خصوصیات ظرفیت شکل پذیری روی ضریب فشار فعال زمین در این آنالیزها ارزیابی شده اند. نتایج مطالعه مدل فیزیکی و آنالیزهای عددی نشان می دهد که توزیع فشار فعال پشت دیوار حایل طره ای انعطاف پذیر غیرخطی است و تغییرات، به انعطاف پذیری دیوار و خصوصیات ظرفیت شکل پذیری بستگی دارد. فشار جانبی زمین با افزایش انعطاف پذیری دیوار افزایش می یابد. طبق نتایج آزمایش های فیزیکی و آنالیزهای عددی ظرفیت ژئوفوم باعث کاهش در فشار زمین که به سختی نسبی ظرفیت  $E_i/t_i$ ، انعطاف پذیری نسبی دیوار و پارامترهای مقاومت گسیختگی خاکریز بستگی دارد، می شود. نگاه به مطالعات حساس و دقیق روی تاثیر ارتفاع دیوار بر درصد کاهش بار برای یک سری خصوصیات معین صفحه شکل پذیر، هیچ تغییر مهمی را نشان نمی دهد، تا زمانی که نیروهای جانبی به خاطر خاکریز، به تنش تسلیم مواد ژئوفوم قابل تراکم تجاوز نکنند. ژئوفوم XPS نیروی تسلیم بیشتری دارد و محدوده کرنش الاستیک در مقایسه با EPS و امکان فراهم آمدن خاکریز طاقی جانبی و کاهش بار برای ساختارهای حایل به بارهای جانبی بالاتر به خاطر افزایش ارتفاع خاکریز و اثر بار زنده در نزدیکی دیوار مربوط می

شوند. علاوه بر این ها مدل های ریاضی نیز برای پیش بینی ضریب فشار جانبی زمین و نقطه نرمال شده کاربردی نیروی جانبی برای دیوار حایل طره ای با و بدون لایه ژئوفوم شکل پذیر استفاده می شوند.

## 8. مراجع

1. Ozgur.L.Ertugrul,AurelianC.Trandafir, 2013. Lateral earth pressures on flexible cantilever retaining walls with deformable geofom inclusions.
2. Alzawi,A., ElNaggar,M.H.,2011.Full scale experimental study on vibration scattering using open and in filled (geofom) wave barriers Soil Dynamics and Earthquake Engineering 31, 306–317.
3. Arellano,D., Tatum,J.B., Stark,T.D.,Horvath,J.S.,Leshchinsky,D.2010.A frame work for the design guideline for EPS block geofom in slope stabilization and repair .Journal of the Transportation Research Board 2170,100–108.
4. Duskov,M.,1997.Materials research on EPS-20 and EPS-15 under representative conditions inpavement structures. Geotextiles and Geomembranes 15(1–3),147–181.
5. Ertugrul,O.L.,Trandafir,A.C.,2011.Reductionof lateral earth forces acting on rigid non-yielding retaining walls by EPS geofom inclusions. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering 23 (12),1711–1718.
6. Ertugrul,O.L.,Trandafir,A.C.,2012.Aphysicalmodelingstudyonthedynamic responseOfWorldConferenceon EarthquakeEngineering,PaperNo. 3474,Lisbon,Portugal(September2012).
7. Horvath,J.S.,1995.Geofom Geosynthetic.P.C.Scarsdale,NewYork.
8. Horvath,J.S.,1997.Compressible inclusion function of EPS geofom.Geotextiles and Geomembranes15 (1),77–120.
9. Ikizler,S.B.,Aytakin,M.,Nas,E.,2008.Laboratory study of expanded poly styrene(EPS) geofom used with expansive soils. Geotextiles and Geomembranes 26(2),189–195. Jaky,J.,1944. The coefficient of earth pressure at rest. Journal of the Hungarian Society of Architects and Engineers 25, 355–358.
10. Jutkofsky,W.S.,Sung,J.T.,Negussey,D.,2000.Stabilization of an embankment slope with Transportation Research Record,pp. 94–102.
11. Karpurapu,R.,Bathurst,R.J.,1992.Numerical investigation of controlled yielding of soil-retaining wall structures. Geotextiles and Geomembranes 11,115–131.
12. Stark,T.,Arellano,D.,Horvath,J.S.,Leshchinsky,D.,2004.Guideline and recommended standardfor geofom application sin highway embankments .NCHRP Report No529.
13. Trandafir,A.C.,Ertugrul,O.L.,2011. Earthquake responseof a gravity retaining wall with geofom inclusion.Proceedings of the Geo-Frontiers 2011,Geotechnical Special Publication No.211,pp.3177–3185.
14. Trandafir,A.C.,Moyles,J.F., Erickson,B.A.,2010.Finite-element analysis of lateral pressures on rigid non-yielding retaining walls with EPS geofom inclusion.ASCE Geotechnical Special Publication No.208, Proceedings of the Earth Retention Conference Aug.1–4,2010,pp.756–763(Bellevue,WA).



15. Younan, A.H., Veletsos, A.S., 2000. Dynamic response of flexible retaining walls. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 29, 1815–1844.