

ارزیابی اثر ژئوفوم در رفتار استاتیکی دیوارهای حائل وزنی

نوید حسن پوری نوتاش^۱، روزبه دبیری^{۳*}

- ۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی
- ۲- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، پردیس علوم و تحقیقات آذربایجان شرقی، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز
- ۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی

*rouzbeh_dabiri@iaut.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۶/۱۲/۰۳]

تاریخ دریافت: [۹۶/۰۶/۲۲]

چکیده

در پژوهش عددی حاضر با استفاده از نرم‌افزار تفاضل محدود FLAC در حالت تحلیل دوبعدی، به بررسی میزان تاثیر ژئوفوم در بهبود رفتار دیوارهای حائل وزنی در شرایط استاتیکی پرداخته شده است. از این رو به منظور تعیین میزان کارایی ژئوفوم در جابه‌جایی‌ها و همچنین نیروهای وارد بر دیوارهای حائل، پارامترهایی از قبیل ارتفاع دیوارهای حائل وزنی، چگالی و ضخامت ژئوفوم، تاثیر شکل قرارگیری ژئوفوم در پشت دیوار حائل، تاثیر استفاده از سیستم دو پانل ژئوفوم در این عملکرد مورد بررسی قرار گرفته است. دیوارهای حائل در ارتفاع‌های ۳، ۶ و ۹ متری و ژئوفوم‌ها در چگالی‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب که به ترتیب مربوط به EPS15، EPS20 و EPS25 هستند، در ضخامت‌های نسبی ۰/۰۵، ۰/۲ و ۰/۴ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مطابق با نتایج، استفاده از EPS15، که دارای کمترین چگالی نسبت به بقیه ژئوفوم‌ها است، نقش قابل توجهی در کاهش نیروها خواهد داشت. بنابراین در این پژوهش در بررسی اثر دو پانل ژئوفوم، از EPS15 در چهار فاصله قرارگیری ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ سانتی‌متری استفاده شده است. بررسی‌ها نشان داده‌اند، عملکرد ژئوفوم در دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر متفاوت با دیوارهای حائل تسلیم‌ناپذیر است. مطالعه‌های انجام گرفته توسط پژوهشگران نشان داده‌اند، میزان تاثیر ژئوفوم در کاهش نیروهای وارد بر دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر کمتر از دیوارهای حائل تسلیم‌ناپذیر است. در این پژوهش اثر استفاده از ژئوفوم در هر دو نوع دیوار حائل تسلیم‌پذیر و تسلیم‌ناپذیر مورد بررسی قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: ژئوفوم، دیوار حائل وزنی، دیوار حائل تسلیم‌پذیر و تسلیم‌ناپذیر، مدل‌سازی عددی، FLAC.

۱- مقدمه

چگالی کم، پلی استایرن انبساطی^۱ که در زمره محصول‌های ژئوسنتتیک با نام ژئوفوم شناخته می‌شود، انتخابی مناسب برای این مصالح تراکم‌پذیر است. ژئوفوم آن دسته از مصالح

بررسی‌های پژوهشگران نشان داده‌اند که قرار دادن مصالح تراکم‌پذیر در بین دیوار حائل صلب و خاکریز پشت آن باعث کاهش نیروهای استاتیکی [3-1] و همچنین دینامیکی [7-4] وارد بر دیوار حائل می‌شود. امروزه استفاده از پانل‌هایی با

1 EPS

می‌یابند [10]. پژوهش عددی انجام گرفته در سال ۲۰۱۰ میلادی توسط (Trandafir-Bartlett) در رابطه با بررسی عملکرد دو پانل ژئوفوم به چگالی ۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب در کاهش نیروهای لرزه‌ای وارد بر دیوار حائل ۹ متری تسلیم‌ناپذیر که با استفاده از نرم‌افزار المان محدود Quake/W از بسته نرم‌افزار Geostudio مورد مطالعه قرار گرفته است، اهمیت استفاده از سیستم دو پانل ژئوفوم در دیوار حائل مورد بررسی قرار گرفته است. به این صورت که مطابق با این پژوهش یکی از پانل‌ها در پشت دیوار حائل و پانل بعدی در یک فاصله مشخص از پانل اول در داخل خاکریز قرار می‌گیرد. مطابق با نتایج به دست آمده از این پژوهش در این حالت عملکرد لرزه‌ای ژئوفوم‌ها تابعی از فاصله قرارگیری پانل‌ها بوده به طوری که با افزایش فاصله قرارگیری دو پانل میزان نیروی وارد بر دیوار حائل کم‌کم کاهش یافته و به این ترتیب عملکرد ژئوفوم در کاهش نیروهای لرزه‌ای وارد بر دیوار افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است این افزایش در عملکرد تا یک فاصله بهینه‌ای به وقوع می‌پیوندد، به طوری که بعد از آن فاصله، با وجود افزایش فاصله بین دو پانل عملکرد لرزه‌ای ژئوفوم‌ها کاهش می‌یابند. این پژوهشگران عملکرد ژئوفوم مستطیلی و دوزنقه‌ای شکل را نیز در دیوار حائل مورد بررسی قرار داده و نتیجه به دست آمده حاکی از آن است که استفاده از یک پانل ژئوفوم به شکل دوزنقه‌ای شکل عملکرد لرزه‌ای بهتری نسبت به ژئوفوم مستطیلی شکل در دیوار حائل تسلیم‌ناپذیر خواهد داشت [4].

در مطالعه عددی حاضر نقش شرایط مرزی دیوار حائل (تسلیم‌پذیر و تسلیم‌ناپذیر) در راندمان ژئوفوم با در نظر گرفتن پارامترهایی از قبیل ارتفاع دیوار حائل، چگالی و ضخامت ژئوفوم، شکل مقطع ژئوفوم (دوزنقه‌ای و مستطیلی شکل)، تعداد پانل ژئوفوم (در فاصله‌های قرارگیری مختلف) و همچنین سختی ژئوفوم در حالت مدل‌سازی دوبعدی کرنش سطح در شرایط بارگذاری استاتیکی با استفاده از نسخه ۷ نرم‌افزار تفاضل محدود FLAC مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

ژئوستتیک است که از فوم تشکیل شده است که به دلیل وزن حجمی ناچیز در برابر وزن حجمی خاک، تراکم‌پذیری بالا، اجرای سریع و آسان، عایق حرارت و مقاوم در برابر جذب آب [8] قابلیت کاربرد بالایی در مهندسی ژئوتکنیک دارد که می‌توان از آن‌ها در دیوارهای حائل، پروژه‌های راه‌سازی به‌عنوان یک پرکننده سبک، کاهش تنش‌های ناشی از بارهای قائم در لایه‌های زیرین استفاده نمود [9, 8, 3]. مطالعه‌های انجام گرفته توسط پژوهشگران نشان داده‌اند که میزان تاثیر ژئوفوم در کاهش نیروهای وارد بر دیوار حائل تسلیم‌پذیر کمتر از دیوارهای حائل تسلیم‌ناپذیر است [6].

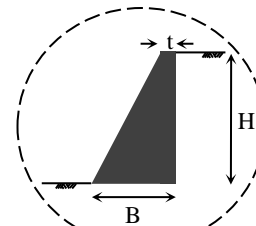
قرار دادن مصالح تراکم‌پذیر در پشت دیوارهای حائل صلب به منظور کاهش در نیروهای استاتیکی با نصب در محل (مطالعه میدانی) در سال ۱۹۸۷ توسط Partos-Kazaniwsky [1] و همچنین تحلیل‌های عددی با استفاده از نرم‌افزار المان محدود در سال ۱۹۹۲ توسط Karpurapu-Bathurst [2] گزارش شده است. مطابق با پژوهش عددی Karpurapu-Bathurst نشان داده شده است که استفاده از مواد تراکم‌پذیر (ژئوفوم) در پشت دیوارهای حائل باعث کاهش نیروهای وارد بر دیوار می‌شود. در حالت کلی، مطابق با نتایج به دست آمده در این پژوهش، با افزایش کرنش جانبی خاک، نیروهای جانبی کاهش خواهند یافت. مطابق با نتیجه‌گیری‌های این پژوهشگران با افزایش ضخامت ماده تراکم‌پذیر تنش‌های جانبی در داخل خاک کاهش می‌یابند. همچنین در یک ضخامت یکسان برای ماده تراکم‌پذیر، کاهش در مدول الاستیسیته ماده تراکم‌پذیر نیز باعث کاهش تنش‌های جانبی در داخل خاک می‌شود [2]. در پژوهش Ertugrul-Trandafir در سال ۲۰۱۱ میلادی اثر استفاده از ژئوفوم در کاهش نیروهای استاتیکی وارد بر دیوار حائل تسلیم‌ناپذیر به ارتفاع ۰/۷ متر با مدل‌سازی عددی و درستی‌آزمایی آن با مدل‌سازی فیزیکی کوچک مقیاس نشان داده شده است. مطابق با این پژوهش سختی نسبی ژئوفوم که به صورت مدول الاستیسیته خاکریز به مدول الاستیسیته ژئوفوم تعریف شده است نقش قابل توجهی در نیروهای وارد بر دیوار حائل خواهد داشت. به طوری که با افزایش سختی نسبی ژئوفوم نیروهای وارد بر دیوار حائل کاهش

۲- مدل سازی عددی

۱-۲- شکل هندسی

ابعاد مورد استفاده در مدل سازی دیوارهای حائل وزنی در این پژوهش در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. ابعاد انتخابی برای دیوار حائل وزنی



H (m)	B (m)	t (m)
3	1.8	0.5
6	3.6	1
9	5.4	1.5
B/H=0.6		t/B=0.27

Table 1. Gravity retaining wall dimensions

مطابق شکل (۱) تمامی دیوارهای حائل روی یک ماسه متراکم به ضخامت ۹ متر مدل سازی شده اند. انتخاب این ضخامت در مدل سازی عددی حاضر با توجه به پژوهش انجام گرفته توسط Manya Deyanova et.al [11] و Tiznado-Rodríguez Roa [12] که مربوط به بررسی پاسخ لرزه ای دیوار حائل وزنی است، می تواند به منظور بررسی های مربوط به بزرگنمایی در داخل خاک در شرایط تحلیل لرزه ای مورد استفاده قرار گیرد. مطالعه های عددی نشان داده اند در نسبت طول خاکریز به ارتفاع دیوار بیشتر از ۵، طول خاکریز اثر کمی در پاسخ دیوار حائل دارد [5,13]. در این پژوهش طول خاکریز موجود در پشت دیوارهای حائل برابر با ۴۵ متر برای تمامی مدل سازی ها در نظر گرفته شده است. در شکل (۱) شرایط مرزی مدل در هر دو حالت تحلیل تسلیم پذیر و تسلیم ناپذیر نشان داده شده است. طبق تعریف، دیوارهای حائل تسلیم پذیر بر خلاف دیوارهای تسلیم ناپذیر در مقابل فشار جانبی خاک از خود انعطاف نشان می دهند [14]. همان طوری که در شکل ۱ (الف) ملاحظه می شود در مدل سازی دیوارهای حائل تسلیم پذیر، قسمت زیرین مدل در هر دو جهت افقی و قائم، و قسمت های چپ و راست مدل نیز در جهت افقی دارای شرایط مرزی بسته هستند. مطابق شکل ۱ (ب) برای دیوارهای حائل تسلیم ناپذیر

علاوه بر موارد ذکر شده در شکل ۱ (الف)، قسمت زیرین و نمای بیرونی دیوار حائل نیز در هر دو جهت افقی و قائم دارای شرایط مرزی بسته است.

شکل ۱. شرایط مرزی مدل: (الف) شرایط مرزی مدل برای دیوار حائل تسلیم پذیر و (ب) شرایط مرزی دیوار حائل در شرایط تسلیم ناپذیر

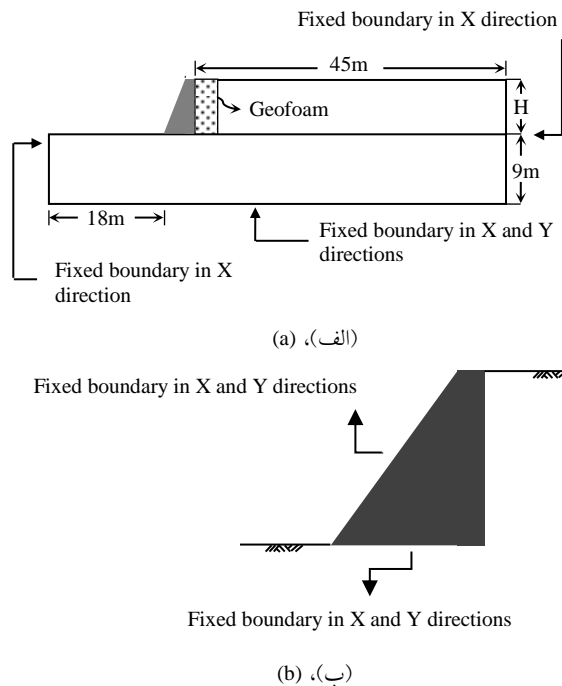


Fig. 1. Gravity retaining walls boundary conditions (a) yielding retaining wall, (b) Non-yielding retaining wall.

با انتخاب این نوع شرایط مرزی برای دیوار حائل تسلیم ناپذیر، که می توان به دیوارهای موجود در کوله های پل اشاره نمود، با توجه به شرایط تکیه گاهی این نوع دیوارها، دیوار هیچ گونه انعطافی در مقابل فشار جانبی خاک از خود نشان نداده و این نوع دیوار می تواند فشار خاک را در حالت فشار سکون حفظ نماید. شبکه بندی مدل در مدل سازی دیوارهای حائل ۳ متری و ۶ متری با استفاده از گره های مربعی شکل به ابعاد ۰/۳ متر و برای دیوارهای حائل ۹ متری با استفاده از گره های مربعی شکل به ابعاد ۰/۴۵ متر انتخاب شده است.

۲-۲- مشخصات مصالح خاکریز و دیوارهای حائل

مدل سازی عددی دیوار حائل سنگی به طور کلی به دو دسته مدل سازی میکرو و مدل سازی ماکرو تقسیم بندی می شود. مطابق شکل ۲ (الف)، در مدل سازی میکرو هر کدام از اجزاء دیوار سنگی به طور جداگانه مدل سازی می شود. هر چند که

۲-۳- مشخصات ژئوفوم

مطابق شکل (۳) رفتار تنش و کرنش ژئوفوم قابل تقسیم به ۴ ناحیه است. در ناحیه اول که مربوط به کرنشی تا حدود ۱ درصد است، رفتار ژئوفوم به صورت خطی است. در ناحیه دوم، نمودار تا کرنشی در حدود ۱۰ درصد انحنای پیدا کرده و در ناحیه سوم، ژئوفوم تا کرنشی در حدود ۵۰ درصد رفتار خطی از خود نشان می‌دهد. در ناحیه چهارم نیز که مربوط به کرنش بیش از ۵۰ درصد است سخت‌شدگی ژئوفوم به وقوع می‌پیوندد. نتایج به دست آمده از انتخاب مدل رفتاری الاستو-پلاستیک ساده، مدل غیرخطی پیشرفته و مدل سخت‌شوندگی برای مصالح ژئوفوم مورد بررسی قرار گرفته که تفاوت قابل توجهی در میزان کاهش نیروهای لرزه‌ای وارد بر دیوار حائل مشاهده نشده است [5].

در این پژوهش از ۳ نوع ژئوفوم EPS15، EPS20 و EPS25 استفاده شده است. در مدل‌سازی عددی پانل‌های ژئوفوم از مدل رفتاری مور-کولمب استفاده شده است. در مدل‌سازی EPS15 مطابق جدول (۴) از پژوهش Zarnani-Bathurst و در مدل‌سازی EPS20 و EPS25 از روابط پیشنهادی ارائه شده توسط سایر پژوهشگران، مطابق جدول (۳)، استفاده شده است. لازم به ذکر است مدل الاستیسیته EPS20 و EPS25 میانگینی از دو رابطه ارائه شده در جدول (۳) انتخاب شده‌اند.

مدل‌سازی در این روش از دقت قابل توجهی برخوردار است، اما از نظر محاسباتی و شیوه مدل‌سازی بسیار پیچیده بوده و برای مدل‌سازی در ابعاد بزرگ کاربردی ندارد [15]. در مدل‌سازی ماکرو، مانند شکل (۲ ب)، دیوار سنگی به صورت یک ماده هموزن و یکدست با خواص مکانیکی معادل فرض می‌شود. مدل‌سازی در این روش ساده بوده و حجم محاسبات نیز بسیار کمتر از مدل‌سازی میکرو است. دقت مناسب مدل‌سازی ماکرو (همگن‌سازی) مورد تایید قرار گرفته است [16]. در این پژوهش نیز از روش مدل‌سازی ماکرو در مدل‌سازی‌های دیوار حائل سنگی استفاده شده است. به این ترتیب، نیاز به خواص مکانیکی معادل دیوار حائل سنگی خواهد بود.

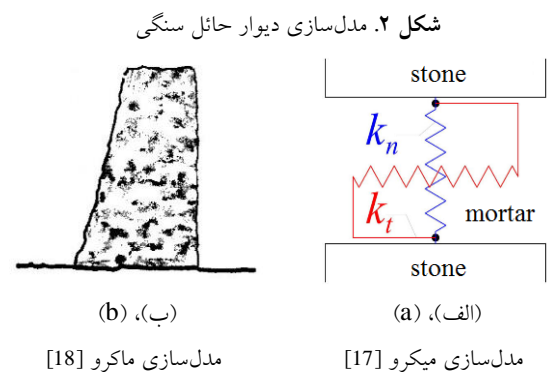


Fig. 2. Stone retaining wall: (a) Micro modeling [17], (b) Macro modeling [18]

مشخصات دیوار حائل وزنی و خاک‌های مورد استفاده در این پژوهش مطابق جدول (۲) است. در مدل‌سازی عددی دیوار حائل وزنی و خاک‌های مورد استفاده از مدل رفتاری مور-کولمب استفاده شده است. با توجه به این جدول خاکریز پشت دیوار حائل و همچنین خاک مورد استفاده در پی دیوارها از نوع ماسه متراکم است.

جدول ۲. مشخصات مصالح به کار رفته در پژوهش

properties	Material		
	Foundation [6]	Backfill [6]	Wall
γ (kN/m ³)	20	18	24
E (MPa)	100	60	2×10 ³
v	0.33	0.33	0.2
ϕ (°)	40	35	30
c (MPa)	0	0	0.2

Table 2. Material properties.

جدول ۳. روابط پیشنهادی برای تعیین مشخصات مقاومتی ژئوفوم

EPS properties	Recommended correlation
Young's modulus [20]	$E_{ti} = 0.45 \rho - 3$
	$E_{ti} = 16.431 - 1.645 \rho + 0.061 \rho^2$
Poisson's ratio [20]	$\nu = 0.0056 \rho + 0.0024$
Cohesion [9]	$C = 894.7 \gamma_g^2 - 214.3 \gamma_g + 45.78$
Yield stress [21]	$\sigma_y = 6.41 \rho - 35.2$
Units:	
ρ	E_{ti}
kg/m ³	MPa
	γ_g
	kPa
	C
	σ_y
	kPa

Table 3. Recommended correlations for EPS geofoam design based in literature.

در نظر گرفتن سختی فصل مشترک برابر با ۱۰ برابر سختی قسمت نرم قابل قبول خواهد بود [23]. با توجه به پژوهش‌های انجام گرفته در دیوارهای حائل، سختی برشی اغلب دارای مقادیر کمتری از سختی نرمال در نظر گرفته شده است [24-26]. در پژوهش حاضر سختی برشی فصل مشترک مصالح ۰/۲ برابر سختی نرمال در نظر گرفته شده است [25]. به این ترتیب سختی‌های نرمال و برشی مورد استفاده در مطالعه عددی حاضر مطابق رابطه (۱) در نظر گرفته شده است.

$$k_n = 10 \times \left[\frac{K + \frac{4}{3}G}{\Delta z_{min}} \right], k_s = 0.2 \times k_n \quad (1)$$

که در این رابطه K مدول حجمی، G مدول برشی و Δz_{min} کوچک‌ترین بعد کوچک‌ترین زون، در همسایگی مرز مورد بررسی است.

۳- ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل

شکل (۴) توزیع نیروهای وارد بر دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر و تسلیم‌ناپذیر را در حالت بدون استفاده از ژئوفوم نشان می‌دهد. همان‌طوری که از شکل ملاحظه می‌شود فشار جانبی خاک در دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر بین حالت محکم و سکون قرار دارد. در شکل (۵) جابه‌جایی‌های افقی و قائم ایجاد شده در دیوار حائل ۹ متری تسلیم‌پذیر نشان داده شده است.

۳-۱- تاثیر ضخامت و سختی نسبی ژئوفوم

کاهش نیروهای وارد بر دیوارهای حائل در شکل (۶) برای دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر و در شکل (۷) برای دیوارهای حائل تسلیم‌ناپذیر، نشان داده شده است. در این نمودارها A_p میزان کاهش نیروهای استاتیکی وارد بر دیوارهای حائل در دو حالت بدون استفاده از ژئوفوم و با استفاده از ژئوفوم (راندمان استاتیکی) در ضخامت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

شکل ۳. نمودار تنش- کرنش ژئوفوم [19]

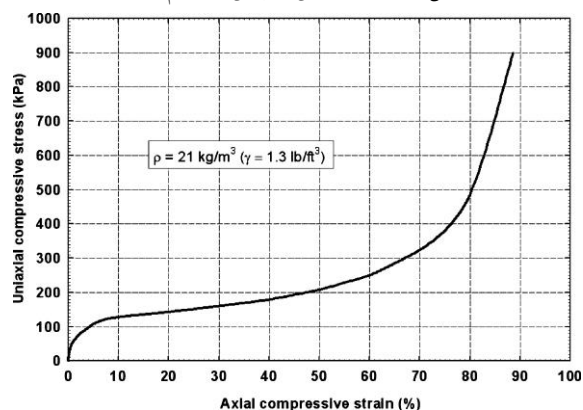


Fig. 3. EPS geofoam stress-strain behavior [19]

انتخاب زاویه اصطکاک موجود در بین فصل مشترک مصالح با توجه به مقادیر معمول و همچنین از مقادیر ذکر شده در پژوهش‌های مختلف صورت گرفته است. زاویه اصطکاک موجود در سطح مشترک خاک با دیوار حائل، با استفاده از رابطه $\delta_{soil-wall} = (2/3) \phi_{soil}$ و مقادیر مربوط به زاویه اصطکاک خاک با ژئوفوم و همچنین ژئوفوم با دیوار حائل بر اساس پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه به ترتیب ۲۶ [6] و ۳۰ درجه [22] در نظر گرفته شده است.

جدول ۴. مشخصات مقاومتی ژئوفوم

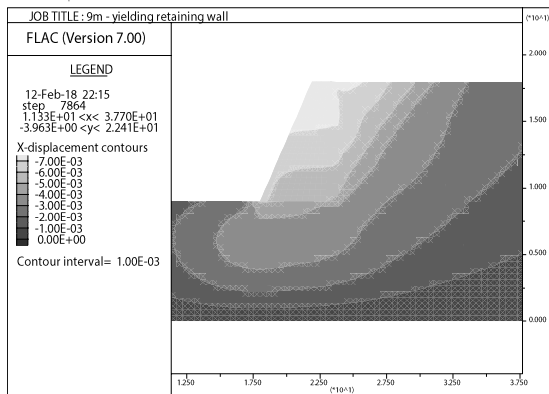
EPS type	EPS15 [5]	EPS20	EPS25
ρ (kg/m ³)	15	20	25
E (MPa)	4.31	6.97	10.84
ν	0.1	0.11	0.14
c (kPa)	27	38.71	48.12
σ_v (kPa)	54	93	125

Table 4: EPS properties

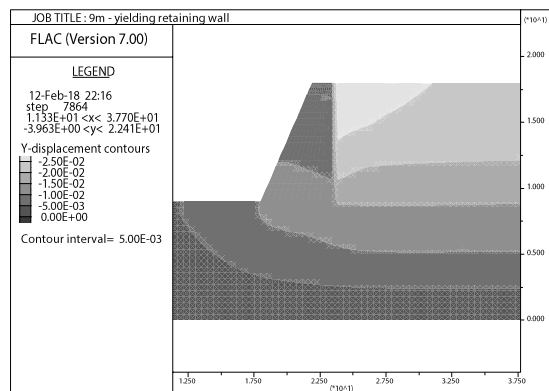
در مدل‌سازی‌های انجام گرفته سختی نرمال و برشی موجود در فصل مشترک مصالح با تعریف المان Interface¹ در نظر گرفته شده است. مطابق با راهنمای FLAC سختی نرمال و برشی سطح مشترک مصالح در حدود ۱۰ برابر سختی معادل مصالح مجاور آن پیشنهاد شده است و زمانی منطقی است که مصالح موجود در دو طرف فصل مشترک مشابه هم بوده باشند، اما در صورتی که مصالح موجود در یک‌سوی فصل مشترک خیلی سخت‌تر از طرف دیگر بوده باشد، در این صورت رابطه (۱) باید برحسب قسمت نرم در نظر گرفته شود. در این موارد

افزایش ضخامت ژئوفوم وجود نداشته و همچنین میزان اثر ژئوفوم در کاهش نیروهای لرزه‌ای وارد بر دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر کمتر از دیوارهای حائل تسلیم‌ناپذیر است [6]. در مطالعه عددی حاضر نتیجه مشابهی در شرایط بارگذاری استاتیکی به دست آمده است. همان‌گونه که از شکل‌های (۶) و (۷) ملاحظه می‌شود، بر خلاف دیوارهای حائل تسلیم‌ناپذیر، روند مشخصی در کاهش نیروهای وارد بر دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر با افزایش ضخامت ژئوفوم وجود ندارد. در دیوار حائل تسلیم‌ناپذیر نیز راندمان استاتیکی ژئوفوم در دیوارهای حائل ۶ و ۹ متری تقریباً یکسان به دست آمده‌اند.

شکل ۵. جابه‌جایی‌های ایجاد شده در دیوار حائل ۹ متری تسلیم‌پذیر (الف) جابه‌جایی‌های افقی، و (ب) جابه‌جایی‌های قائم



(الف)، (ا) جابه‌جایی‌های افقی



(ب)، (ب) جابه‌جایی‌های قائم

Fig. 5. Displacement contours of 9 meters yielding wall: (a) horizontal and (b) vertical.

در حالت کلی مطابق با نتایج، با افزایش ضخامت ژئوفوم نیروهای وارد بر دیوارهای حائل کاهش یافته و راندمان ژئوفوم در کاهش نیروهای استاتیکی وارد بر دیوارهای حائل افزایش می‌یابد که نتیجه مشابهی در پژوهش AbdelSalam et همکاران روی دیوار حائل انعطاف‌پذیر در شرایط تحلیل

شکل ۴. توزیع نیروهای وارد بر دیوارهای حائل وزنی تسلیم‌پذیر و تسلیم‌ناپذیر در حالت بدون استفاده از ژئوفوم در ارتفاع‌های (الف) ۳ متری، (ب) ۶ متری و (ج) ۹ متری

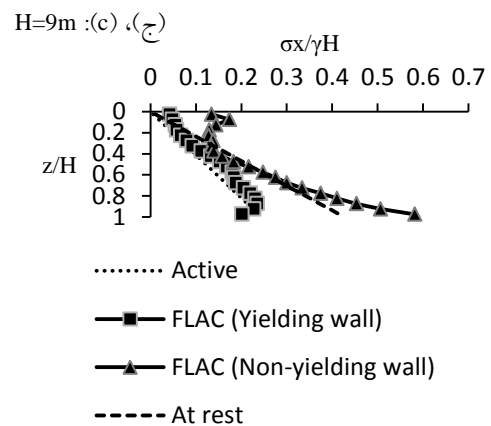
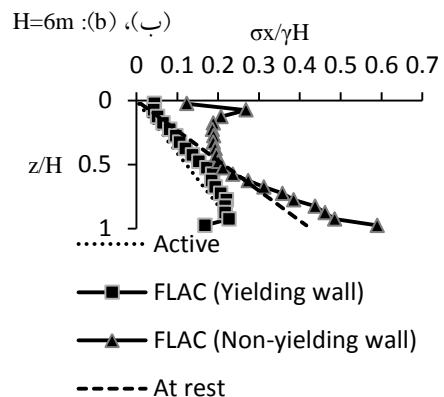
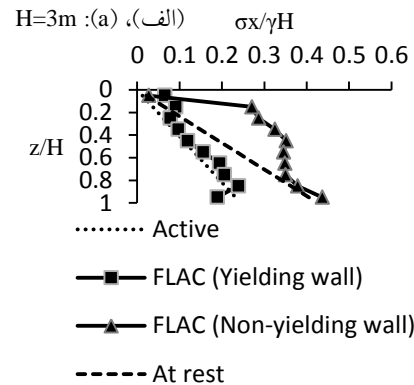


Fig. 4. Lateral earth pressure distribution on retaining walls without using EPS: (a) H=3m, (b) H=6m and (c) H=9m

مطابق با پژوهش عددی انجام گرفته توسط Athanasopoulos و همکاران که مربوط به بررسی اثر ژئوفوم در کاهش نیروهای لرزه‌ای وارد بر دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر و ۴/۵ متری است، نشان داده شده است برخلاف دیوارهای حائل تسلیم‌ناپذیر، در دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر روند مشخصی در رابطه با کاهش نیروهای وارد بر دیوار حائل با

مطابق با نتایج به دست آمده، راندمان ژئوفوم در کاهش نیروهای وارد بر دیوار حائل با سختی ژئوفوم در ارتباط است [28]. بر اساس نتایج به دست آمده، مطابق شکل (۸) سختی نسبی ژئوفوم که برابر با مدول الاستیسیته ژئوفوم بر ضخامت آن است در دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر کمتر از ۵ مگانیوتن بر مترمکعب پیشنهاد می‌شود ($K \leq 5MN/m^3$). همان‌طوری که از این شکل ملاحظه می‌شود با افزایش ضخامت ژئوفوم، سختی نسبی ژئوفوم کاهش یافته و ژئوفوم قابلیت فشرده‌سازی بیشتری در برابر نیروهای وارد شده خواهد داشت. بنابراین جابه‌جایی‌های جانبی خاک افزایش یافته و در نتیجه نیروهای جانبی وارد بر دیوار حائل کاهش می‌یابند. این نتیجه در پژوهش (Ni et al.) که مربوط به مدل‌سازی فیزیکی دیوار حائل است نیز نشان داده شده است [28]. مطابق شکل (۸) در هر دو دیوار حائل تسلیم‌پذیر و تسلیم‌ناپذیر در تمامی موارد سختی ژئوفوم رابطه غیر خطی با راندمان ژئوفوم دارد که نتیجه به دست آمده با پژوهش Zarnani-Bathurst دارای هماهنگی است [13]. مطابق با بررسی‌های انجام گرفته سختی ژئوفوم می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش نیروهای وارد بر دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر داشته باشد. با این حال ایجاد راندمان منفی در دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر نیازمند مطالعه بیشتر در این زمینه می‌باشد. شکل (۹) قسمت (الف و ب)، به ترتیب جابه‌جایی‌های جانبی خاک و همچنین توزیع نیروهای وارد بر دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر ۹ متری را در ضخامت‌های نسبی مختلف ژئوفوم برای EPS15 نشان می‌دهد. مطابق با پژوهش Karpurapu-Bathurst استفاده از مواد تراکم‌پذیر (ژئوفوم) در پشت دیوارهای حائل باعث افزایش کرنش جانبی خاک شده و به این ترتیب نیروهای وارد بر دیوار حائل کاهش می‌یابند که با افزایش ضخامت ژئوفوم تدریجاً کرنش‌های جانبی خاک افزایش و در نتیجه نیروهای جانبی وارد بر دیوار کاهش می‌یابند [2]. در پژوهش حاضر نتیجه مشابهی مطابق شکل (۹) برای دیوار حائل ۹ متری به دست آمده است.

با توجه به نتایج به دست آمده با افزایش ضخامت ژئوفوم جابه‌جایی‌های جانبی خاک افزایش یافته و نیروهای جانبی به حالت محرک نزدیک می‌شود. همان‌طوری که از شکل (۹)

استاتیکی نیز نشان داده شده است [27]. اثر استفاده از ژئوفوم در دیوارهای حائل سنگی در حالت تسلیم‌پذیر، همان‌طور که در شکل (۶) نیز مورد بررسی قرار گرفته است، به دلیل ایجاد راندمان‌های منفی در برخی ضخامت‌های نسبی و ارتفاع‌ها، نیازمند ایجاد چارت‌های پیشنهادی به منظور انتخاب مشخصات مناسب ژئوفوم برای استفاده در این‌گونه دیوارها است.

شکل ۶. تاثیر ضخامت ژئوفوم (EPS15) در کاهش نیروهای وارد بر

دیوارهای حائل وزنی تسلیم‌پذیر

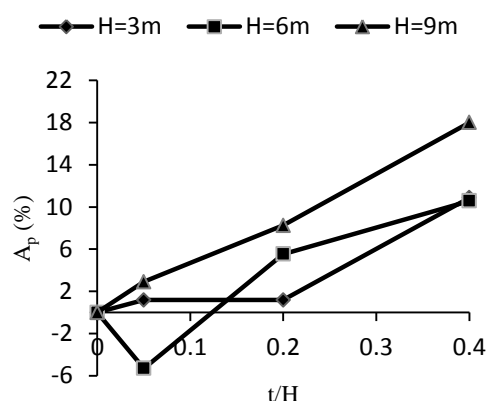


Fig. 6. Influence of EPS15 thickness ratio on reduction of forces on yielding retaining walls.

شکل ۷. تاثیر ضخامت ژئوفوم (EPS15) در کاهش نیروهای وارد بر

دیوارهای حائل وزنی تسلیم‌ناپذیر

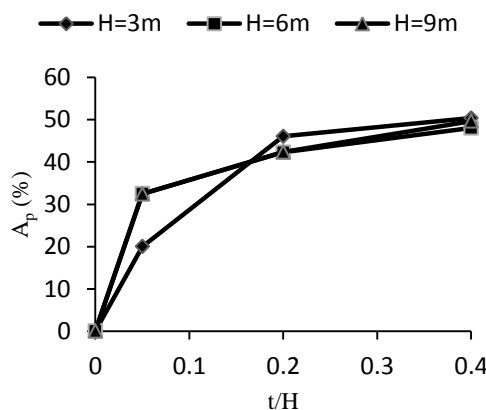


Fig. 7. Influence of EPS15 thickness ratio on reduction of forces on non-yielding retaining walls.

یک دلیل احتمالی برای وقوع راندمان‌های منفی ژئوفوم در دیوارهای حائل می‌تواند ناشی از سختی ژئوفوم بوده باشد.

شکل ۹. تاثیر ضخامت EPS15 در دیوار حائل تسلیم پذیر ۹ متری: (الف) جابه‌جایی‌های افقی خاک موجود در پشت پانل ژئوفوم و (ب) توزیع نیروهای وارد بر دیوار

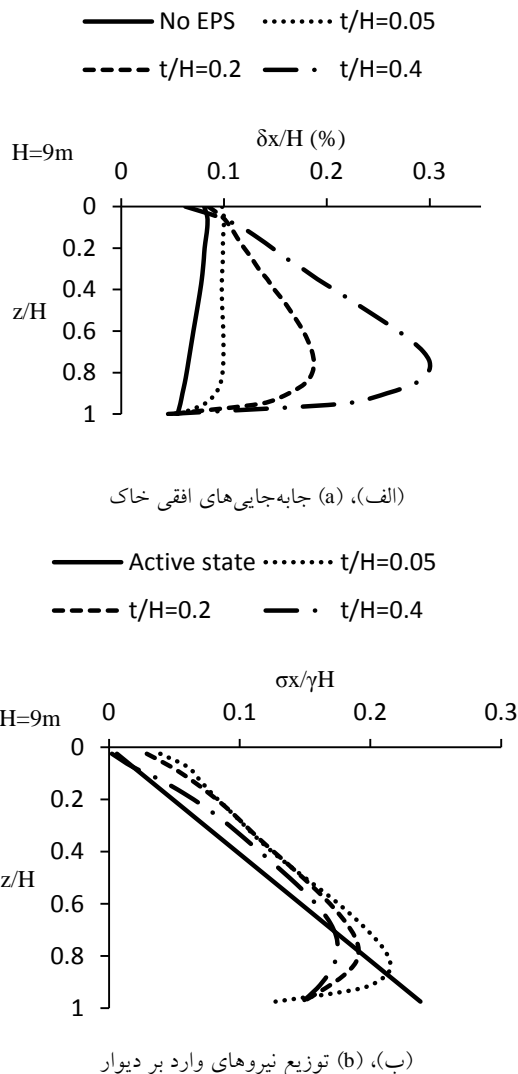


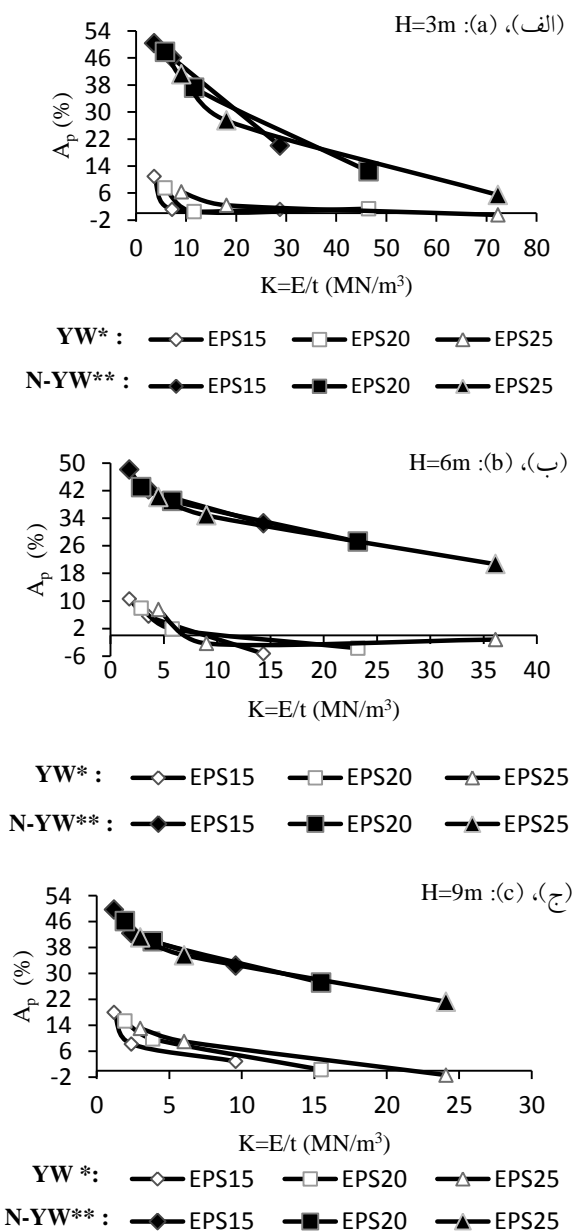
Fig. 9. Influence of EPS15 thickness ratio on (a) lateral displacements of soil and (b) distribution of forces on H=9m yielding wall.

۳-۲- تاثیر چگالی ژئوفوم

شکل (۱۰) تاثیر چگالی ژئوفوم را در نیروهای استاتیکی وارد بر دیوارهای حائل وزنی ۹ متری در ضخامت‌های مختلف ژئوفوم در شرایط تسلیم پذیر و تسلیم‌ناپذیر نشان می‌دهد. این شکل P_0 نیروی جانبی وارد بر دیوارهای حائل را در شرایط عدم استفاده از ژئوفوم نشان می‌دهد.

ملاحظه می‌شود بیشینه جابه‌جایی جانبی خاک و همچنین بیشینه نیروی وارد بر دیوار حائل در حالت استفاده از پانل ژئوفوم در عمقی در حدود $0.8H$ از بالای دیوار به وقوع می‌پیوندد که در پژوهش Karpurapu-Bathurst نیز نتیجه مشابهی برای دیوار حائل ۳ متری به دست آمده است [2].

شکل ۸. تاثیر سختی ژئوفوم در راندمان استاتیکی برای دیوارهای حائل: (الف)، (ب) ۶ متری و (ج) ۹ متری



*YW: Yielding retaining Wall
**N-YW: Non-Yielding retaining Wall

Fig. 8. Influence of stiffness of geofoam ($K=E/t$) on the reduction of static forces on retaining walls (a) $H=3m$, (b) $H=6m$ and (c) $H=9m$.

شکل ۱۱. تاثیر چگالی ژئوفوم با ضخامت نسبی ۰/۲ بر جابه‌جایی‌های افقی خاک موجود در پشت پانل ژئوفوم در دیوار حائل ۹ متری (الف) تسلیم‌پذیر و (ب) تسلیم‌ناپذیر

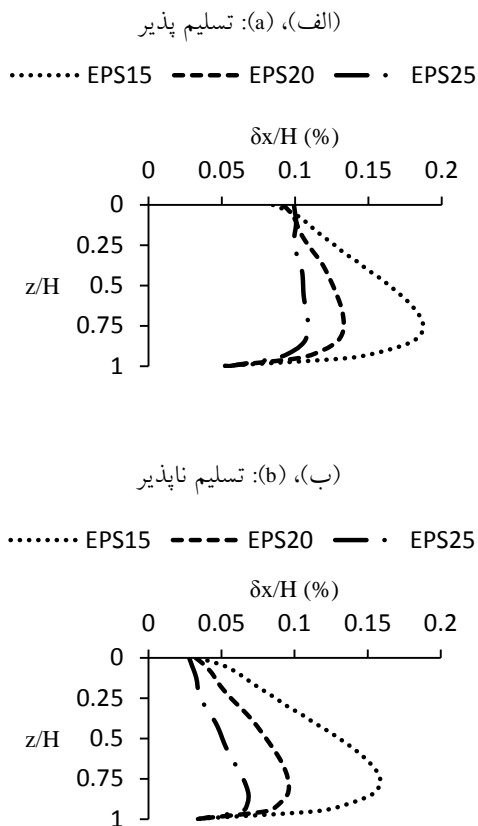


Fig. 11. Influence of geofoam density with relative thickness of 0.2H (H=9m) on the lateral displacements of soil: (a) yielding state and (b) non-yielding state

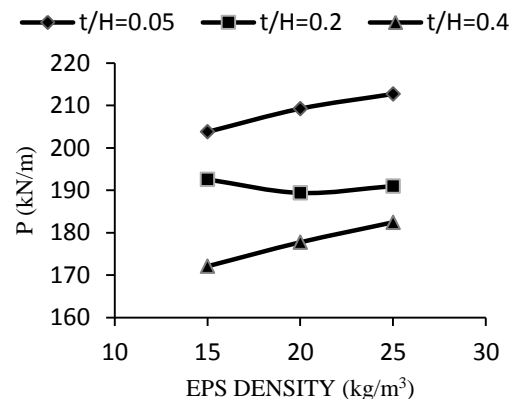
۳-۳- اثر تعداد پانل‌های ژئوفوم

استفاده از سیستم دو پانل ژئوفوم در کاهش نیروهای لرزه‌ای وارد بر دیوارهای حائل تسلیم‌ناپذیر توصیه شده است [4]. در این پژوهش به منظور مقایسه عملکرد دو پانل ژئوفوم نسبت به یک پانل ژئوفوم در کاهش نیروهای استاتیکی وارد بر دیوارهای حائل، مدل‌سازی ژئوفوم با چگالی ۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب (EPS15) به ضخامت نسبی ۰/۴ (ضخامت هر یک از پانل‌ها برابر با ۰/۲) در فواصل قرارگیری ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و در نهایت ۲۰۰ سانتی‌متری انجام گرفته و با عملکرد یک پانل ژئوفوم به ضخامت نسبی ۰/۴ مقایسه شده است.

شکل (۱۲) تاثیر ژئوفوم در میزان کاهش نیروهای وارد بر دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر را در فاصله‌های قرارگیری مختلف ژئوفوم (d) نشان می‌دهد. لازم به ذکر است فاصله (d=0)

شکل ۱۰. تاثیر چگالی ژئوفوم در نیروهای وارد بر دیوارهای حائل ۹ متری (الف) تسلیم‌پذیر و (ب) تسلیم‌ناپذیر

(الف)، (ب): تسلیم‌پذیر ($P_0=209.9 \text{ kN/m}$)



(ب)، (ب): تسلیم‌ناپذیر ($P_0=376.5 \text{ kN/m}$)

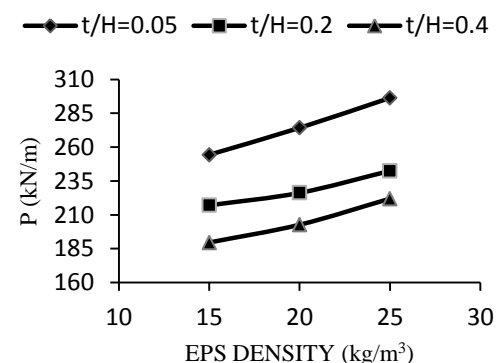


Fig. 10. Influence of geofoam density on static forces on 9 meters retaining wall (a) yielding state and (b) non-yielding state.

مطابق با نتایج به دست آمده از پژوهش عددی Karpurapu-Bathurst در یک ضخامت یکسان برای ماده تراکم‌پذیر، کاهش در مدول الاستیسیته ماده تراکم‌پذیر نیز باعث کاهش تنش‌های جانبی در داخل خاک می‌گردد [2]. همان‌طوری که از شکل (۱۰) ملاحظه می‌گردد در یک ضخامت یکسان برای پانل‌های ژئوفوم با کاهش چگالی ژئوفوم نیروهای وارد بر دیوار حائل کاهش می‌یابند. شکل (۱۱) تاثیر چگالی ژئوفوم را در ضخامت نسبی ۰/۲ بر جابه‌جایی‌های جانبی خاک برای هر دو نوع دیوارهای حائل ۹ متری تسلیم‌پذیر و تسلیم‌ناپذیر نشان می‌دهد. مطابق با این نتایج، در هر دو نوع دیوار با کاهش چگالی ژئوفوم جابه‌جایی‌های جانبی خاک افزایش می‌یابند.

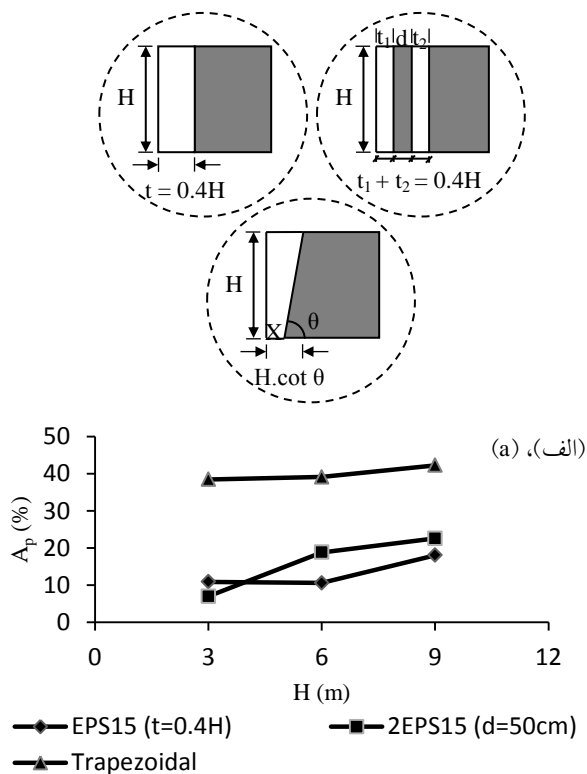
۳-۴- اثر شکل مقطع ژئوفوم

شکل مقطع ژئوفوم نقش قابل توجهی در کاهش نیروهای لرزه‌ای وارد بر دیوار حائل خواهد داشت. به طوری که پژوهش‌های انجام گرفته نشان داده‌اند استفاده از پانل مثلثی شکل [29] و همچنین پانل دوزنقه‌ای شکل [4] نقش قابل توجهی در کاهش نیروهای لرزه‌ای وارد بر دیوار حائل نسبت به پانل مستطیلی شکل خواهد داشت. هدف از بررسی شکل مقطع پانل ژئوفوم در پژوهش حاضر ارزیابی اثر مقطع بهینه در کاهش هرچه بیشتر نیروهای وارد بر دیوار حائل در شرایط تحلیل استاتیکی در هر دو نوع دیوارهای تسلیم‌پذیر و تسلیم‌ناپذیر می‌باشد. مطابق شکل (۱۳) به منظور بررسی تفاوت عملکرد ژئوفوم دوزنقه‌ای شکل با عملکرد ژئوفوم مستطیلی شکل در حالت تحلیل استاتیکی، مدل‌سازی با EPS15 انجام گرفته است.

شکل ۱۳. میزان کاهش نیروهای وارد بر دیوارهای حائل در حالت‌های

استفاده از ژئوفوم دوزنقه‌ای و مستطیلی شکل:

(الف) دیوار حائل تسلیم‌پذیر و (ب) دیوار حائل تسلیم‌ناپذیر



مربوط به استفاده از یک پانل ژئوفوم به ضخامت نسبی ۰/۴ می‌باشد. مطابق با نتایج به دست آمده استفاده از دو پانل ژئوفوم تاثیر مثبتی در کاهش نیروهای وارد بر دیوار حائل ۳ متری نداشته است، در حالی که در دیوارهای حائل ۶ و ۹ متری استفاده از دو پانل ژئوفوم در فاصله قرارگیری برابر با ۵۰ سانتی‌متری (d=۵۰cm) بهترین عملکرد را داشته است. مطابق با پژوهش Trandafir-Bartlett استفاده از دو پانل ژئوفوم به چگالی ۲۵ (kg/m³) در فاصله بهینه ۹۰ سانتی‌متر، در دیوارهای حائل تسلیم‌ناپذیر ۹ متری عملکرد لرزه‌ای ژئوفوم را به میزان ۵ درصد نسبت به حالت استفاده از یک پانل ژئوفوم افزایش می‌دهد [4]. مطابق شکل (۱۲)، در این پژوهش نتیجه مشابهی در شرایط بارگذاری استاتیکی به دست آمده است. مطابق این شکل بهترین عملکرد ژئوفوم در دیوار حائل ۹ متری مربوط به فاصله بهینه ۵۰ سانتی‌متر بوده که به میزان ۴/۵ درصد باعث افزایش عملکرد ژئوفوم نسبت به حالت استفاده از یک پانل ژئوفوم شده است.

شکل ۱۲. تاثیر استفاده از سیستم دو پانل ژئوفوم و مقایسه آن با عملکرد یک پانل ژئوفوم در ضخامت نسبی ۰/۴ در دیوارهای حائل

تسلیم‌پذیر

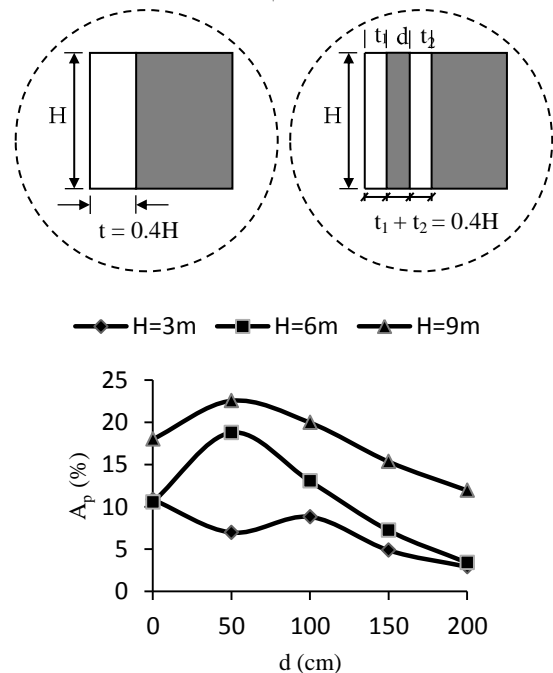


Fig. 12. Effects of one geofoam panel and two geofoam panels with relative thickness of 0.4H in various panel spacing on reduction of yielding retaining walls forces.

نیروهای وارد بر دیوارهای حائل وزنی کاهش و جابه‌جایی‌های جانبی خاک افزایش می‌یابند.

۳- بر خلاف دیوار حائل ۳ متری، استفاده از دو پانل ژئوفوم در دیوارهای حائل ۶ و ۹ متری تسلیم‌پذیر مناسب است.

۴- پانل ژئوفوم دوزنقه‌ای شکل سهم بیشتری در کاهش نیروهای وارد بر دیوارهای حائل نسبت به استفاده از ژئوفوم مستطیلی شکل در شرایط تحلیل استاتیکی دارد.

۵- اثر استفاده از ژئوفوم در کاهش نیروهای استاتیکی وارد بر دیوارهای حائل تسلیم‌ناپذیر بیشتر از دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر است.

۶- در دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر انتخاب سختی ژئوفوم که به صورت مدول الاستیسیته ژئوفوم بر ضخامت آن تعریف می‌شود ($K=E/t$)، نقش تعیین‌کننده‌ای در نیروهای وارد بر دیوارهای حائل سنگی دارد. نتایج نشان دادند در این نوع دیوارها بهتر است از ژئوفوم‌هایی با سختی کمتر از ۵ مگانیوتن بر مترمکعب ($K \leq 5MN/m^3$) استفاده شود.

مطابق با نتایج به دست آمده از مطالعه عددی حاضر استفاده از ژئوفوم باعث کاهش نیروهای استاتیکی وارد بر دیوارهای حائل تسلیم‌ناپذیر (حداکثر تا ۵۰ درصد) و تسلیم‌پذیر (حداکثر تا ۱۸ درصد) در مقایسه با حالت بدون استفاده از ژئوفوم می‌شود. مطابق با نتایج سختی ژئوفوم (K) نقش مهمی در میزان کاهش نیروهای وارد بر دیوارهای حائل به‌خصوص در دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر بر عهده دارد. نکته حائز اهمیت در این پژوهش راندمان منفی ژئوفوم در برخی از دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر می‌باشد که نیازمند بررسی و مطالعه بیشتر در این زمینه است. با وجود اینکه در مطالعات پژوهشگران به راندمان منفی ژئوفوم در دیوار حائل اشاره نشده است، با این حال با توجه به نتایج به دست آمده در مطالعه عددی حاضر یک راهکار پیشنهادی در این خصوص استفاده از ژئوفوم‌هایی با سختی کمتر از ۵ مگانیوتن بر مترمکعب در دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر است. به‌طوری که مطابق با نتایج، استفاده از ژئوفوم‌هایی با سختی برابر با ۵ مگانیوتن بر مترمکعب در دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر بیشینه به میزان ۱۰ درصد و در دیوارهای حائل تسلیم‌ناپذیر بیشینه به میزان ۴۹ درصد باعث کاهش نیروهای جانبی وارد بر دیوار حائل می‌شود. همچنین

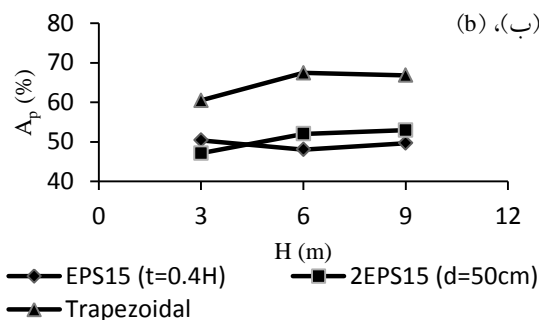


Fig. 13. Effects of trapezoidal and rectangular geofoam panels on reduction of wall forces: (a) yielding retaining wall and (b) non-yielding retaining wall.

در این مقایسه سطح مقطع ژئوفوم دوزنقه‌ای شکل با ژئوفوم مستطیلی شکل یکسان در نظر گرفته شده است. بر این اساس مطابق شکل (۱۳) مقادیر مربوط به زاویه θ برای تمامی دیوارهای حائل ۶۲/۵ درجه و مقادیر مربوط به طول پایه X برای دیوارهای حائل ۳، ۶ و ۹ متری به ترتیب ۰/۸۴، ۱/۶۸ و ۲/۵۱ متر در مدل‌سازی‌ها لحاظ شده است. همان‌طور که از این شکل ملاحظه می‌شود، استفاده از ژئوفوم دوزنقه‌ای شکل عملکرد بهتری را نسبت به استفاده از پانل مستطیلی شکل در کاهش نیروهای وارد بر دیوارهای حائل از خود نشان می‌دهد. در حالت کلی مطابق با نتایج به دست آمده، استفاده از دو پانل ژئوفوم مستطیلی شکل در فاصله بهینه ۵۰ سانتی‌متر و همچنین استفاده از پانل ژئوفوم دوزنقه‌ای شکل نسبت به پانل مستطیلی شکل دارای عملکرد بهتری می‌باشند. با این حال پیشنهاد می‌شود تمهیدات لازم به‌منظور اجرای مناسب این شرایط فراهم شود.

۴- نتیجه‌گیری

در مطالعه عددی حاضر با استفاده از نرم‌افزار تفاضل محدود در حالت تحلیل دوبعدی به بررسی میزان تاثیر ژئوفوم در بهبود رفتار دیوارهای حائل وزنی در شرایط استاتیکی پرداخته شده است. نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر به قرار موارد زیر است:

- ۱- مطابق با نتایج به دست آمده با افزایش ضخامت ژئوفوم جابه‌جایی‌های جانبی خاک افزایش یافته و نیروهای وارد بر دیوارهای حائل وزنی کاهش می‌یابند.
- ۲- در یک ضخامت یکسان ژئوفوم، با کاهش چگالی ژئوفوم

2011, PP. 1711- 1718.

[11] Tiznado, J.C. and Rodríguez-Roa, F., "Seismic lateral movement prediction for gravity retaining walls on granular soils", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 31, 2011, p. 391-400.

[12] Deyanova, Many., Lai, Carlo G., and Martinelli, Mario, "Displacement – based parametric study on the seismic response of gravity earth-retaining walls", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 80, 2016, p. 210-224.

[13] Zarnani, S. and Bathurst, R.J., "Numerical parametric study of expanded polystyrene (EPS) geofoam seismic buffers", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 46(3), 2009, p. 318-338.

[14] Fakher, Ali., *Advanced Foundation Engineering*, University of Tehran, 2th ed, 2013. (In Persian)

[15] Saghafi, M.H., Safakhah, S. and Kheyroddin, A., "Pushover analysis of unreinforced masonry wall", *Research Bulletin of Seismology and Earthquake Engineering*, 13(3,4), 2010, pp.41-52. (In Persian)

[16] Kalali, A. and Kabir, M.Z., "Out-of-Plane performance based on homogenization and micromechanics approach", *Civil Engineering Infrastructures Journal*, Issue 2, 2011, pp.203-217. (In Persian)

[17] Łodygowski, T. and Sielicki, P.W., "The behavior of masonry walls subjected to unusual dynamic loading", *Computer Methods in Mechanics*, Zielona Góra, Poland, 2009.

[18] Stone walls, Office of Research and Technical Standards, Plan and Budget Organization, 1983. (In Persian)

[19] Horvath, J.S. "Emerging Trends in Failures Involving EPS-Block Geofoam Fills," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 24, 2010, p. 365-372.

[20] Athanasopoulos, G.A., Pelekis, P.C. and Xenaki, V.C., "Dynamic Properties of EPS Geofoam: An Experimental Investigation", *Geosynthetics International*, Vol. 6, No. 3, 1999, pp. 171-194.

[21] Horvath, J.S., "The Compressible Inclusion Function of EPS Geofoam" *Geotextiles and Geomembranes* Vol. 15, 1997, p. 77-120.

[22] Stark, T., Arellano, D., Horvath, J.S. and Leshchinsky, D., "Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments", *NCHRP Web Document 65 (Project 24-11)*, 2004.

[23] Itasca 2011. *FLAC Manual (Fast Lagrangian Analysis of Continua)*, Version 7.0.

[24] Bhattacharjee, A. and Murali Krishna, A., "Study Of Seismically Induced Permanent Displacement Of Gravity Retaining Wall", *Indian geotechnical society*, 2009, pp. 627-631.

[25] Chugh, A.K. and Labuz, J. F., "Numerical simulation of an instrumented cantilever retaining wall", *Can. Geotech. J.*, Vol. 48, 2011, pp. 1303–1313.

[26] Qiang-Xie., Carlos Dinis da Gama., Xianbin-Yu. and Yuxin-Chen., "A Parametric Study of Interface Characteristics in a Buttress Retaining Wall", Vol. 18, 2013, PP. 1477- 1492.

[27] AbdelSalam, S. S., Azzam, S. A., and Fakhry, B.

استفاده از قالب‌های دوزنقه‌ای شکل به جای استفاده از قالب‌های مستطیلی شکل در تهیه پانل‌های ژئوفوم در کارگاه‌ها به دلیل نقش بیشتر پانل‌های دوزنقه‌ای شکل در کاهش هرچه بیشتر نیروهای جانبی وارد بر دیوارهای حائل تسلیم‌پذیر (حداکثر ۴۲ درصد کاهش) و تسلیم‌ناپذیر (حداکثر ۶۷ درصد کاهش) پیشنهاد می‌شود. در نهایت در صورت محدودیت‌های احتمالی در تهیه این نوع پانل‌ها، استفاده از دو پانل ژئوفوم مطابق با نتایج به دست آمده در بخش ۳-۳ و بخش ۴-۳ در دیوارهای حائل پیشنهاد می‌شود.

References

۵- مراجع

[1] Partos, A.M., and Kazaniwsky, P.M., "Geoboard reduces lateral earth pressures", In: *Proceedings of Geosynthetics 87*, Industrial Fabrics Association International. New Orleans, LA, USA, 1987, pp.628-639.

[2] Karpurapu, R. and Bathurst, R.J., "Numerical investigation of controlled yielding of soil-retaining wall structures", *Geotextiles and Geomembranes* Vol. 11, 1992, 115-131.

[3] Koerner, Robert M., *Designing with geosynthetics*, Pearson Education, Inc., 5th ed, 2005.

[4] Trandafir, A.C. and Bartlett, S.F., "Seismic performance of double EPS geofoam buffer systems", *Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor I.M. Idriss*, San Diego, California, 2010, p 5.10a.

[5] Zarnani, S. and Bathurst, R.J., "Numerical parametric study of geofoam seismic buffers with different constitutive models", *9th International Conference on Geosynthetics*, Brazil, 2010, pp. 1665-1670.

[6] Athanasopoulos, A., Zekkos., Lamote, K. and Athanasopoulos, G.A., "Use of EPS geofoam compressible inclusions for reducing the earthquake effects on yielding earth retaining structures", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 41, 2012, pp. 59-71.

[7] Trandafir, A.C. and Ertugrul, O.L., "Earthquake response of a gravity retaining wall with geofoam inclusion", *Geo-Frontiers*, 2011, pp. 3177-3185.

[8] Stark, T., Bartlett, S. and Arellano, D., *Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam Applications & Technical Data*, EPS Industry Alliance, 2012.

[9] Padade, A.H. and Mandal, J.N., "Behavior of expanded polystyrene (EPS) geofoam under triaxial loading conditions", *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 17, 2012, p. 2543-2553.

[10] Ertugrul, O. and Trandafir, A., "Reduction of Lateral Earth Forces Acting on Rigid Nonyielding Retaining Walls by EPS Geofoam Inclusions", Vol. 23,

M, "Reliability and 3D Modeling of Flexible Walls with EPS Inclusion," International Journal of Geomechanics, Vol. 17, Issue 7, July 2017, 10p.

[28] Ni, P., Mei, G., and Zhao, Y., "Displacement-Dependent Earth Pressures on Rigid Retaining Walls with Compressible Geofoam Inclusions: Physical Modeling and Analytical Solutions," International Journal of Geomechanics, 2016, 13p.

[29] Athanasopoulos, GA., Nikolopoulou, CP. and Xenaki, VC., "Seismic isolation of earth retaining structures by EPS geofoam compressible inclusions-dynamic F.E. analyses", In: Proceedings of 4th international conference on earthquake geotechnical engineering, 2007, PaperNo.1676.

Effects of Geofoam Panels on Static Behavior of Gravity Retaining Wall

Navid Hasanpouri Notash^{1,2}, Rouzbeh Dabiri^{3*}

1- M.Sc. of Geotechnical Engineering, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

2- M.Sc. of Geotechnical Engineering, Department of Civil Engineering, East Azerbaijan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

3- Assistant Prof., Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

*rouzbeh_dabiri@iaut.ac.ir

Abstract:

Studies have shown that compressible materials between a rigid retaining wall and backfill reduced static and dynamic forces on the wall. Nowadays, panels with low density are used. Expanded polystyrene, which is one of the geo-synthetic products known as geofoam, is a compressible material. Geofoam is one of the geo-synthetic materials that are made of foam. Geofoam is very practical in geotechnical engineering due to its low bulk weight versus soil bulk weight and high compressibility, rapid and simple implementation, thermal insulation, and resistance against water absorption. It can be used in retaining walls, road construction projects as light fillers, and to reduce stress due to vertical loads in the base and sub base layers. Geofoam is one of the geosynthetic product which is made of lightweight expanded polystyrene (EPS) or extruded polystyrene (XPS). EPS geofoam is a block or planar rigid cellular foamed polymeric material that can be used in geotechnical applications. Studies have been shown that geofoam placed directly against a rigid retaining wall can reduce static loads on the wall. This study employed a finite difference method program, FLAC (Itasca, Version 7.00), with considering yielding and non-yielding states for retaining walls to evaluate the effectiveness of geofoam panels in improving the static behavior of retaining walls. To determine the effects of geofoam in soil displacement and earth force acting on the rigid wall, parameters such as the height of retaining wall, density and thickness of geofoam, cross-sectional shape of geofoam panel behind the wall, and also using of two geofoam panels with four panel spacing (50, 100, 150, 200 cm) have been studied via static analysis. In this numerical study three gravity –type retaining walls at heights of 3, 6 and 9 meters and geofoam panels with densities of 15, 20 and 25 (kg/m³) at three relative thicknesses of $t/H=0.05, 0.2$ and 0.4 , were modeled. According to the results using of EPS15 with density equal to 15(kg/m³) which has the lowest density among other geofoam panels has a significant role in reducing of lateral stresses. Although the performance of geofoam in non-yielding retaining walls is better than yielding retaining walls. The results of the present research are as follows:

- 1- According to results, increasing the geofoam thickness increases soil lateral displacement and reduces forces on gravity retaining walls. The same effect can be achieved by reduction of geofoam density with equal thickness. In other words, Forces on gravity retaining walls are reduced and soil lateral displacement is increased by a reduction of geofoam density with equal thickness.
- 2- Using two geofoam panels with distance of 50 cm, unlike 3-meter high wall, is proper in the 6 and 9 meters yielding retaining walls.
- 3- Trapezoidal geofoam increases soil lateral displacement and reduces forces on retaining walls compared to a rectangular geofoam panel with the same cross-sectional area.
- 4- Effect of geofoam on the reduction of forces on non-yielding retaining walls is more than that on yielding walls.
- 5- According to results, stiffness of geofoam panel ($K=E/t$) has significant role in reducing of lateral forces acting on retaining walls. In this study, it was observed that $K \leq 5 \text{ MN/m}^3$ provide the most effective range for the design of these system to reduce static force.

Keywords: EPS, Gravity retaining wall, Yielding and non-yielding wall, Numerical model, FLAC.