



مرکز بررسی اطلاعات و پژوهش‌های دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



دهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی  
۲۹ آبان لغایت ۱ آذر ۹۱ (تهران-ایران)



ارائه الگوی بهینه طراحی دیوار حائل مسلح شده با ژئوسنتتیک تحت اثر بار زلزله

وحید حیدری<sup>۱</sup>، محمد دقیق<sup>۲</sup>، حدیث دقیق<sup>۳</sup>

کلیدواژه: دیوارحایل، خاک مسلح، زلزله، ژئوسنتتیک

مقدمه

یکی از روشهای تثبیت مکانیکی و مقاومسازی خاک ها استفاده از عناصر کششی نظیر نوارهای فلزی، ژئوتکستایل و یا ژئوسنتتیک می باشد. طی ۴۰ سال اخیر بسیاری از سازه های ژئوتکنیکی نظیر دیوارهای حائل و خاکریزها در سراسر جهان با استفاده از تکنیک خاک مسلح ساخته شده و به خوبی عمل کرده اند.

به دلیل ضعیف بودن خاک در برابر تنش های کششی، طراحان همیشه به دنبال بهترین راه حل جهت جبران این نقیصه خاک بوده اند. به همین خاطر از دیرباز استفاده از افزودنی هایی که باعث بالابردن توان کششی و برشی خاک می شود برای مقابله با این ضعف در نظر گرفته شده است. این تکنیک امروزه با روش ها و متدهای پیشرفته و مصالح مقاومتری نظیر تسمه ها و شبکه های فلزی، مصالح پلیمری و الیاف طبیعی انجام می شود که در اصطلاح خاک مسلح خوانده می شود. با توجه به گسترش روز افزون استفاده از مصالح پلیمری مانند ژئوسنتتیک به عنوان المان کششی جهت تسلیح خاک ها، نیاز به مطالعه مسائل خاک مسلح جهت روشن شدن ابعاد مختلف آن احساس می گردد.

کاربرد ژئوسنتتیک در دیوارهای حائل

در تعریف کلی، ژئوسنتتیک ها منسوجات و یا ورقه های ساخته شده از الیاف نفتی هستند که خاصیت اصلی آنها فساد ناپذیر بودن در مقابل عوامل خورنده درون خاک است، لذا کاربردهای فراوانی در مهندسی خاک و بهبود کیفیت خواص گوناگون خاک دارند. ژئوسنتتیک ها انواع گوناگونی دارند، مانند ژئوتکستایل، ژئوگرید، ژئونت، ژئوممبران و ژئوکامپوزیت که هر یک از آنها دارای کاربردهای مختلفی می باشند. [۱]

یکی از گزینه هایی که می تواند جایگزین دیوارهای ضخیم و یا پر هزینه شود، خاک مسلح است. استفاده از این تکنیک در پایدارسازی ترانشه های قائم باعث می شود که دیگر نیازی به ساخت دیوار به عنوان المانی مجزا در جلوی خاک وجود نداشته باشد و تنها یک پوشش نازک جایگزین آن شود. [۲] هنگامی که از ژئوسنتتیک ها در مسلح سازی خاک استفاده می شود، تمرکز اصلی بر روی مقاومت کششی آنهاست. مقاومت کششی بالای این محصول در کنار مقاومت فشاری بالای خاک، ماده مرکبی که به لحاظ مقاومت فشاری و کششی مقاوم است را تولید می کند و ضعف خاک را برطرف می سازد. مسلح سازی خاک در نتیجه باعث بهسازی عملکرد برشی خاک می شود.

[۳]

<sup>۱</sup> - کارشناسی ارشد - شرکت تاپ راه حکمتان - heidari.vahid@gmail.com

<sup>۲</sup> - استادیار - شرکت نفت و گاز پارس - m.daghigh@gmail.com

<sup>۳</sup> - کارشناسی ارشد - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات - daghigh\_y@yahoo.com

اکابه در سال ۱۹۲۶ [۴] و مونونوبه و ماتسو در سال ۱۹۲۹ [۵]، مبانی روش آنالیز شبه استاتیکی در تعیین فشار جانبی خاک در حین زلزله را ارائه کردند. تئوری آنها در واقع همان تئوری کولمب [۶] بود که تنها دو پارامتر  $k_v$  و  $k_h$  در معادلاتشان اضافه شده بود. این پارامترها که به ترتیب ضرائب افقی و قائم زلزله خوانده می شوند، نیروی حاصل از زلزله را به صورت ضریبی از وزن به سیستم تحمیل می کنند. طراحی دیوارهای حایل خاکی مسلح شده با ژئوسینتتیک بر اساس آنالیز پایداری داخلی صورت گرفته و با آنالیز پایداری خارجی کنترل می گردد. ضریب اطمینان در برابر پارگی از تقسیم مقاومت مجاز ژئوسینتتیک بر حداکثر نیروی موجود در هر لایه ژئوسینتتیک به صورت زیر بیان می شود:

$$FS_B = \frac{\sigma_G}{T} \quad (1)$$

در صورتیکه نیروی کششی ژئوسینتتیک از مقاومت اصطکاکی بین مسلح کننده و خاک تجاوز نماید، گسیختگی از نوع بیرون کشیدگی می تواند رخ دهد. طولی از هر لایه ژئوسینتتیک، که می تواند در مقاومت اصطکاکی شرکت نماید، به طور محافظه کارانه طولی در نظر گرفته می شود که بعد از ناحیه گسیختگی قرار دارد و طول موثر نامیده می شود. ضریب اطمینان در برابر بیرون کشیدگی نیز به صورت زیر بیان می شود:

$$FS_p = \frac{F_R}{T} \quad (2)$$

$F_R$  حداکثر نیروی هر لایه ژئوسینتتیک در عمق  $Z$  می باشد و از رابطه زیر بدست می آید:

$$F_R = \gamma l_a \sigma_v c_t \tan \phi_f \quad (3)$$

که در آن  $l_a$  طول موثر ژئوسینتتیک،  $\sigma_v$  فشار قائم در عمق  $Z$ ،  $c_t$  ضریب اندرکنش بین خاک و مسلح کننده و  $\phi_f$  زاویه اصطکاک در سطح تماس خاک و ژئوسینتتیک می باشد. طول ژئوسینتتیک در ناحیه گسیختگی محرک ( $l_m$ ) در عمق دلخواه  $Z$  نیز از رابطه زیر بدست می آید:

$$l_m = \frac{(H-z)}{\tan \alpha} \quad (4)$$

طول کل ژئوسینتتیک در هر عمق دلخواه برابر است با:

$$L = l_m + l_a \quad (5)$$

فاصله عمودی ژئوسینتتیک ها در هر عمق، از رابطه زیر بدست می آید که در آن  $\sigma_a$  تنش افقی کل در عمق مورد نظر می باشد.

$$S_v = \frac{T}{\sigma_a} \quad (6)$$

### مدلسازی عددی در Abaqus

تجربه مطالعات گذشته نشان می دهد که استفاده از روش های عددی، برای مدلسازی سیستم هایی نظیر مصالح خاک و سنگ نتیجه بهتری را در بر دارد. یکی از توانایی های مهم نرم افزار **Abaqus** امکان تحلیل المان های ژئوسینتتیک ها است. ژئوسینتتیک ها می توانند بصورت مستقل، در داخل محیط پیوسته ایجاد گردند. آنها تنها می توانند از خود مقاومت کششی داشته باشند و در فشار و خمش و برش مقاومتی ندارند. مسلح کننده ایجاد شده در داخل محیط پیوسته (شبکه محاسباتی)، می تواند با محیط پیوسته اندرکنش داشته باشد. در مدلسازی های عددی، مهمتر از هر چیز این است که از صحت کار نرم افزار اطمینان حاصل نمود تا بتوان با تکیه بر جواب های بدست آمده، به نتایج قابل اعتمادی دست یافت.

بدین منظور می توان با مقایسه نتایج بدست آمده از مدل های عددی و آزمایشگاهی مشابه، به تدریج مشخصات مدل های عددی را اصلاح نمود. بدین منظور، آزمایشات **Richard J. Bathurst**، در سال ۲۰۰۶ انتخاب گردید.

### مشخصات کلی و هندسه مدل ها

برای مدل کردن دیوار، ارتفاع نقش مهمی دارد. این اهمیت مخصوصاً در بارگذاری دینامیکی چشمگیر است. دیوارهای بلند، رفتارهای متفاوتی از دیوارهای کوتاه دارند. در اینجا از یک گروه از دیوارها با ارتفاع های ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۵ متری استفاده شده است. از آنجا که معمولاً برای ساخت دیوارهای مسلح از خاک های دانه ای استفاده می شود، یک نمونه خاک دانه ای، به عنوان مصالح مصرفی این دیوار استفاده شد. ژئوسینتتیک استفاده شده در آنالیزها از جنس پلی استر با پوشش **PVC** می باشند. برای مرزهای کناری مرزهای جاذب تعریف می گردند تا امواج انعکاسی ناشی از زلزله پس از برخورد به این مرزها بازنگردند. از شتابنگاشت نرمال شده زلزله طیس برای بارگذاری استفاده گردیده است.

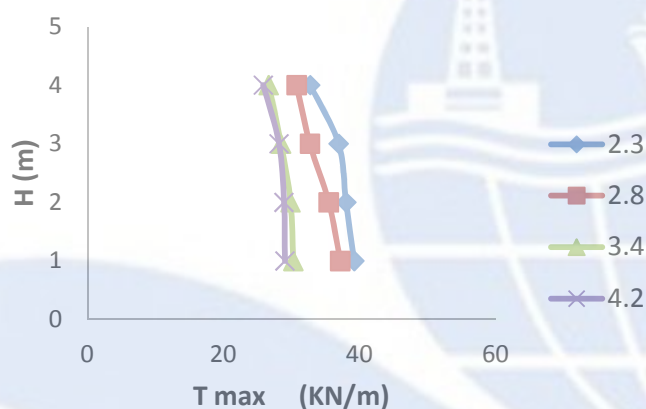
### روند انجام آنالیز در مدلسازی عددی

مدل های آنالیز شده شامل ۴ گروه دیوار با ارتفاعات ذکر شده می باشد که برای مسلح کننده ها ۴ طول با مقادیر متفاوت نسبت به ارتفاع دیوار و فواصل عمودی مسلح کننده ها ۵ مقدار ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷۵، ۰/۹ و ۱ متر در نظر می گیریم. در این مرحله هر یک از دیوارها، در نرم افزار Abaqus مدل سازی شده و شتابنگاشت نرمال شده طیس به آنها اعمال گردید. پس از انجام آنالیزها ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها بدست می آید.

در ابتدا توسط انجام و بررسی آنالیزهای منحنی تغییر نیروی ایجادی در ژئوگریدها در ارتفاع دیوار، طول بهینه ژئوسینتتیک برای ترکیبات دیوار حائل محاسبه می گردد سپس با در نظر گرفتن طول بهینه و مقدار مجاز مقاومت کششی ژئوگرید و مقدار نشست مجاز دیوار حایل با ۵ مقدار مختلف برای فاصله عمودی  $\Delta y$  در آنالیزها فاصله عمودی بهینه ژئوسینتتیک های مسلح کننده بدست می آید.

#### دیوار حایل مسلح با ارتفاع ۵ متر

پس از مدل سازی دیوار با انتخاب ۴ اندازه مختلف ۲/۳، ۲/۸، ۳/۴ و ۴/۲ برای طول ژئوگرید و انجام آنالیز نتایج زیر بدست آمد. فاصله عمودی ژئوگریدها ( $\Delta y$ ) از هم ۱ متر در نظر گرفته شد.

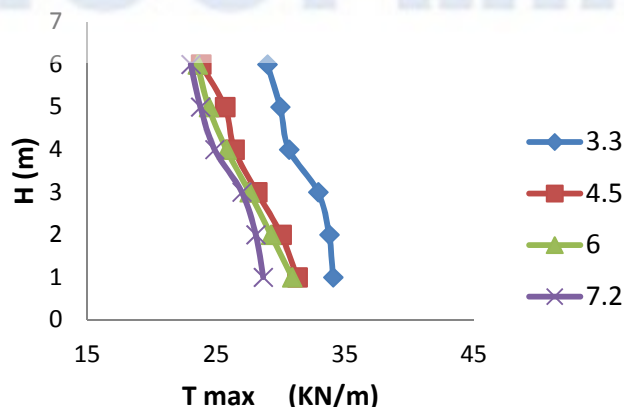


شکل ۱) نیرو ایجاد شده در دیوار با ارتفاع ۵ متر

با توجه به نمودار بدست آمده (شکل ۱) با در نظر گرفتن طول ژئوگرید بیشتر از ۳/۴ متر مقدار ماکزیمم نیرو ایجاد شده تفاوت اندکی می کند با توجه به اینکه مقدار مقاومت مجاز کششی ژئوگرید که در آنالیز استفاده شده ۳۰ kpa می باشد دیوار حائل در مقابل بارگذاری انجام شده مقاومت لازم را دارا می باشد و فاصله عمودی بهینه همان ۱ متر می باشد.

#### دیوار حایل مسلح با ارتفاع ۷/۵ متر

دیوار حائل را با اندازه های ۳/۳، ۴/۵، ۶ و ۷/۲ متر با فاصله عمودی ۱ متر در نظر می گیریم.

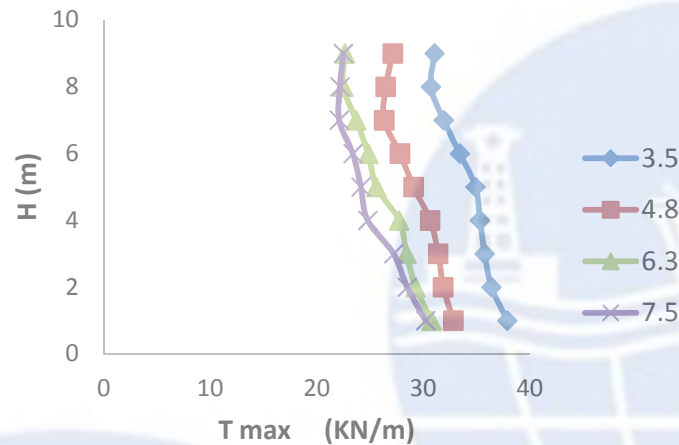


شکل ۲) نیرو ایجاد شده در دیوار با ارتفاع ۷/۵ متر

با توجه به نمودار بدست آمده (شکل ۲) می توان دریافت که با افزایش طول ژئوگرید بیش از ۴/۵ متر مقدار ماکزیمی نیرو ایجاد می شود در لایه های ژئوگرید در یک محدوده قرار دارد و تفاوت آن ها کمتر از ۵ درصد کل نیرو می باشد. ولی ژئوگرید مصرفی تاب تحمل نیرو کششی را نداشته و از هم گسیخته می شود که با تغییر فاصله عمودی لایه ها و کاهش آن می توان مقدار  $\Delta y$  را برابر ۰/۹ متر در نظر گرفت زیرا در این صورت مقدار ماکزیمم نیرو بوجود آمده در ژئوگرید کمتر از مقدار مجاز می باشد و همچنین مقدار تغییر مکان ایجاد شده در مقایسه با مقدار مجاز قابل قبول می باشد.

### دیوار حایل مسلح با ارتفاع ۱۰ متر

دیوار را با ژئوگرید با طول های ۳/۵، ۴/۸، ۶/۳ و ۷/۵ و فاصله عمودی ۱ متر مسلح کرده و آنالیز انجام می شود.

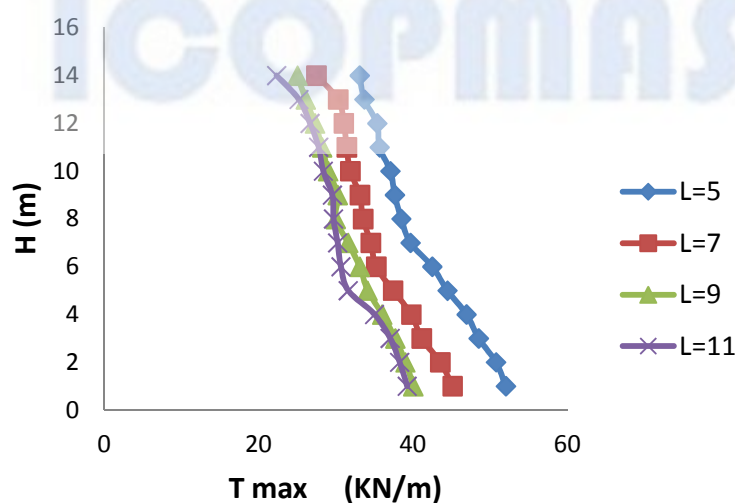


شکل ۳) نیرو ایجاد شده در دیوار با ارتفاع ۱۰ متر

در این تحلیل با توجه به نمودار بدست آمده طول بهینه ژئوگرید مقدار ۶/۳ می باشد. (شکل ۳) ولی در این مورد نیز باید با تغییر اندازه فاصله عمودی ژئوگرید ها نیروی ایجاد شده کمتر از مقدار مجاز گردد. اگر فاصله عمودی ۰/۸ متر را به عنوان فاصله بهینه قرار دهیم از لحاظ نیرو و تغییر مکان کمتر از مقدار مجاز خواهد شد و سازه پایداری و کارایی خود را همچنان خواهد داشت.

### دیوار حایل مسلح با ارتفاع ۱۵ متر

مراحل آنالیز را با طول ژئوگرید ۵، ۷، ۹ و ۱۱ متر انجام می دهیم.



شکل ۴) نیرو ایجاد شده در دیوار با ارتفاع ۱۵ متر



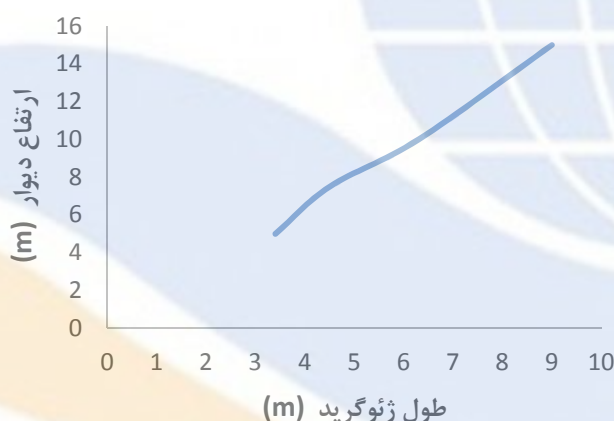
با بررسی نتایج آنالیز (شکل ۴) مقدار طول ۹ متر را به عنوان طول بهینه برگزیده و برای جلوگیری از گسیختگی ژئوگریدها با کاهش فاصله عمودی لایه ها ماکزیمم نیرو کششی ایجادی را مورد بررسی قرار داده و مقدار فاصله عمودی بهینه ۰/۵ متر تعیین می گردد.

### جدول پیشنهادی استفاده از ژئوستتیک

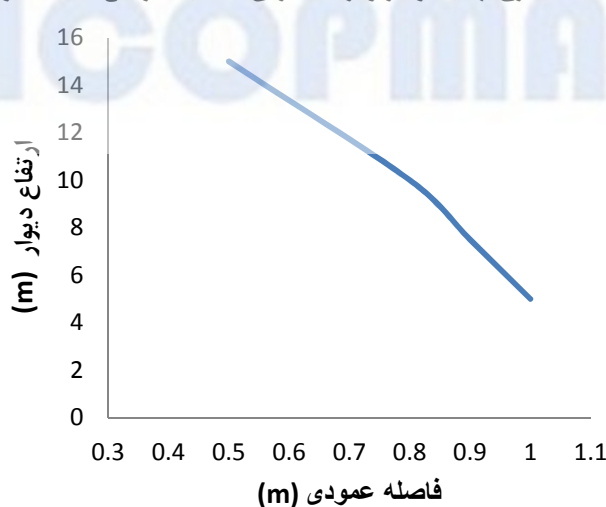
با توجه به ماکزیمم نیروهای بوجود آمده در لایه های ژئوستتیک می توان جدولی برای طول و فاصله بهینه مسلح کننده در ارتفاعات مختلف دیوارحائل پیشنهاد نمود که طرح دیوار حایل مسلح شده با صرفه اقتصادی و همچنین نیرو بوجود آمده منطبق بر مقدار مجاز گشته و پایداری سازه تامین گردد.

جدول ۱) طرح بهینه طول و فاصله عمودی مناسب ژئوگرید با ارتفاع مختلف دیوار

ردیف	ارتفاع دیوار (m)	فاصله عمودی $\Delta y(m)$	طول ژئوستتیک (m)
۱	۵	۱	۳/۴
۲	۷/۵	۰/۹	۴/۵
۳	۱۰	۰/۸	۶/۳
۴	۱۵	۰/۵	۹



شکل ۵) طرح بهینه طول ژئوگرید مصرفی مناسب با ارتفاع مختلف دیوار



شکل ۶) طرح بهینه فاصله عمودی ( $\Delta y$ ) مناسب با ارتفاع مختلف دیوار

## نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

در این تحقیق آنالیز دینامیکی در دیوارهای حایل مسلح شده ۵ تا ۱۵ متر با طول و فاصله عمودی متغیر انجام و توزیع نیروهای مسلح کننده ها در ارتفاع دیوار از نتایج آنالیزها استخراج گردید. در ضمن نمودار تغییرات طرح بهینه طول ژئوگرید مصرفی مناسب با ارتفاع دیوار و طرح بهینه فاصله عمودی ( $\Delta y$ ) مناسب با ارتفاع دیوار در شکل ۵ و شکل ۶ بدست آمد. با مشاهده جدول و نمودار فوق می توان دریافت که برای طراحی دیوار حائل مسلح شده طول لایه های ژئوگرید را باید اندازه ای در نظر گرفت که برابر مقدار بهینه باشد، زیرا با بیشتر در نظر گرفتن طول لایه تفاوت زیادی در نیروهای ایجاد شده در آن وجود نخواهد داشت و تنها هزینه ساخت را افزایش می دهد. در مورد فاصله عمودی لایه ها نیز باید دو معیار مقاومت مجاز کششی ژئوگرید و تغییر مکان مجاز را در نظر گرفته و دیوار حائل طراحی گردد. بر این اساس با انتخاب طول و فاصله عمودی مختلف برای دیوارها با ارتفاعات مختلف، در هر مورد طول و فاصله عمودی مناسب پیشنهاد شد و طرح بهینه طول و  $\Delta y$  مناسب با ارتفاع مختلف دیوار بدست آمد.

در ادامه مطالعه حاضر، عناوین زیر برای پیگیری و تحقیق بیشتر پیشنهاد می شود:

۱. بررسی و مقایسه نتایج حاصل از مدلسازی عددی و تحلیل شبه استاتیکی
۲. مطالعه پارامتریک عددی یا تحلیلی در یافتن تاثیرات نوع و مشخصات پی در طراحی سازه های مسلح ژئوسینتتیک
۳. انجام آنالیز توسط نرم افزار بر روی مدل دیوار حایل با موج  $\sin$  با فرکانس های متفاوت برای پی بردن به بیشترین تشدید در مقایسه با فرکانس طبیعی سازه

## مراجع:

- [۱] Bathurst, R.J., Geosynthetics in walls, the International Geosynthetics Society (IGS).
- [۲] Tatsuoka, F., Tateyama, T., Uchimura, T., and Koseki, J. (1997), "Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls as Important Permanent Structures", Geosynthetic International, 1996-1997 MERCER LECTURE, 4(2), pp. 81-136
- [۳] Geosynthetics and their applications-By Sanjay Kumar Shukla Divers Savants, Vol. 7
- [۴] Okabe, S. (1926), "General Theory of Earth Pressures", Journal of the Japan Society of Civil Engineering, 12(1)
- [۵] Mononobe, N., and Matsuo, H. (1929), "On the Determination of Earth Pressures during Earthquakes", Proceedings, World Engineering Congress, 9 p
- [۶] Coloumb, C. A. (1776), "Essai sur une application des maximis et minimis a quelques problems de statique relatifs a l'architecture", Memoires de l'Academie Royal Pres

ICOPMAS

## **An Optimum Model for Designing Retaining Wall Armed with Geosynthetic under Seismic Load**

**V. Heidari**

MA, Hekmatan Top Rah Company  
[Heidari.Vahid2@gmail.com](mailto:Heidari.Vahid2@gmail.com)

**M. Daghigh**

Pars Oil and Gas Company  
[m.daghigh@gmail.com](mailto:m.daghigh@gmail.com)

**H. Daghigh**

MA, Islamic Azad University, Science and Research Branch  
[Daghigh\\_y@yahoo.com](mailto:Daghigh_y@yahoo.com)

### **Abstract:**

Because of weakness of soil against tensile stresses, designers have always looked for the best solution for compensating this weakness. For this purpose, for a long time, additives were used for increasing the soil tensile and shear strengths to deal with soil weaknesses. Considering increasing development of using polymeric materials such as geosynthetic as a tensile element for soil reinforcement, there is a need to study the armed soil problems and defining its dimensions. The present research dynamically analyzes the retaining reinforced walls with 5 to 15 meter length and variable vertical distance. Also, the reinforced power distribution in wall height is extracted from analysis results.

**Key words:** retaining wall, armed soil, earthquake, geosynthetic

ICOPMAS