

## اثر تغییر طول مسلح کننده‌ها بر فشار جانبی در دیوارهای خاک مسلح دوطرفه

سروش نظریان<sup>۱\*</sup>، علی درخشانی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده فنی مهندسی دانشگاه شاهد [s.nazarian@shahed.ac.ir](mailto:s.nazarian@shahed.ac.ir)

۲- استادیار دانشکده فنی مهندسی دانشگاه شاهد [adera@shahed.ac.ir](mailto:adera@shahed.ac.ir)

### چکیده

خاک به عنوان مهم‌ترین مصالح قرضه در پروژه‌های عظیم عمرانی همواره مورد توجه مهندسين پروژه بوده و در برخی موارد به منظور استفاده از خاک موجود، نیاز به بهسازی آن می‌باشد. یکی از روش‌های بهسازی خاک، مسلح سازی مکانیکی می‌باشد. به صورت معمول در خاکریز پل‌های شهری از روش مسلح سازی مکانیکی خاک استفاده می‌شود. دیواره‌های خاکریز پل‌های شهری به علت نزدیکی به یکدیگر از نوع دیوارهای پشت به پشت به حساب می‌آیند. به منظور طراحی خاک مسلح در دیوارهای پشت به پشت عموماً از آیین نامه‌های موجود در رابطه با دیوارهای خاک مسلح عادی استفاده می‌شود. در این پژوهش، با استفاده از مدلسازی عددی دیوارهای خاک مسلح دوطرفه در نرم‌افزار FLAC 2D با اعمال تغییرات بر طول مسلح کننده‌ها به بررسی تفاوت توزیع فشار جانبی در حالت دیوار خاک مسلح پشت‌به‌پشت نسبت به دیوار خاک مسلح عادی پرداخته شده و در نهایت به مقایسه مقادیر مدلسازی شده با مقادیر پیشنهاد شده در آیین‌نامه پرداخته شده است.

**واژه‌های کلیدی:** دیوارهای خاک مسلح پشت‌به‌پشت، فشار جانبی پشت دیوار، مسلح سازی مکانیکی خاک، مدلسازی عددی.

### ۱- مقدمه

خاک مهم‌ترین مصالح قرضه موجود در طبیعت است که در اکثر پروژه‌های عظیم عمرانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور بهره‌برداری از خاک موجود در اکثر موارد نیاز به بهسازی آن می‌باشد. یکی از روش‌های بهسازی خاک، مسلح سازی مکانیکی خاک بوده که در ساخت خاکریزها نظیر کوله‌های پل‌ها از این روش استفاده می‌شود. در این روش عمدتاً خاک به صورت لایه‌های افقی بر روی یکدیگر ریخته می‌شود و در بین این لایه‌ها از مسلح کننده‌هایی با جنس‌های مختلف نظیر ژئوگریدهای پلیمری استفاده می‌شود. دیواره تکیه‌گاه‌های دو طرف پل‌ها به یکدیگر نزدیک بوده و معمولاً خاکریز آن‌ها به صورت دیوارهای پشت‌به‌پشت می‌باشد.

در سال ۲۰۰۹ هان و لشینسکی در یک مدلسازی عددی با تغییر دادن فاصله بین دو دیواره خاک مسلح، به این نتیجه رسیدند که فشار جانبی خاک، ۵ تا ۱۵ درصد کاهش می‌یابد. هاردیانتو و ترونک در مطالعه خود در سال ۲۰۱۰ با مدلسازی عددی بارگذاری لرزه‌ای دیوارهای خاک مسلح پشت‌به‌پشت و مقایسه فشارهای جانبی آن با مقدار ارائه شده از توصیه اشتهو، اشاره به محافظه کارانه بودن روش طراحی در آیین‌نامه دارد. الشربینی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ با مدلسازی سیزده حالت مختلف از دیوارهای پشت‌به‌پشت، مشاهده کردند که در یک چهارم پایین دیوار خاک مسلح میزان فشار جانبی از مقدار فشار اکتیو رانکین

- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده فنی مهندسی دانشگاه شاهد

۲- استادیار دانشکده فنی مهندسی دانشگاه شاهد

بیشتر بوده و به فشار جانبی حالت سکون نزدیکتر است و دلیل این امر گیرداری پایین دیواره به پی است. در سال ۲۰۱۶ نیز بن مبارک و عطالویی با مدلسازی عددی چند حالت مختلف از کمتر بودن میزان فشار جانبی در دیوار خاک مسلح پشت‌به‌پشت نسبت به تئوری تعادل حدی رانکین اشاره کرده‌اند. در این تحقیق با استفاده از مدلسازی عددی، با در نظر گرفتن ۲۴ حالت مختلف، با اعمال تغییرات بر مشخصات خاک و همچنین طول ژئوگریدها، به بررسی تغییرات فشار جانبی و همچنین مقایسه مقادیر حاصل شده از تحقیق نسبت به مقادیر ارائه شده در آیین‌نامه اداره بزرگراه‌های ایالت متحده آمریکا پرداخته شده است.

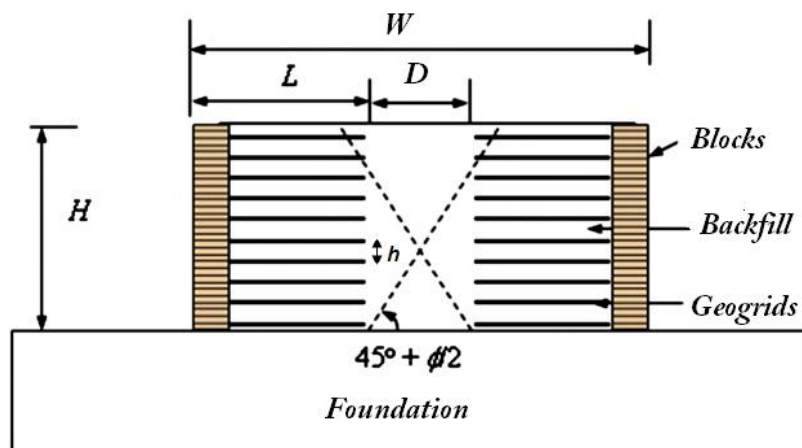
## ۲- تعریف دیوار خاک مسلح پشت‌به‌پشت

بر اساس تعریف ارائه شده در آیین‌نامه اداره بزرگراه‌های آمریکا زمانی که فاصله دو سر مسلح کننده‌ها از مقدار ارائه شده در رابطه ۱ بیشتر باشد، دیوار خاک مسلح به صورت یک‌طرفه است و دیگر به صورت پشت‌به‌پشت محسوب نمی‌شود. در این حالت دو سمت دیوار به صورت مستقل از یکدیگر طراحی می‌شوند و فشار پشت دیوار نیز به صورت اکتیو می‌باشد. اما اگر میزان فاصله بین دو سر مسلح کننده‌ها از مقدار ارائه شده در رابطه ۱ کمتر بشود، دیوار به صورت پشت‌به‌پشت بوده و فشار جانبی پشت دیوار دیگر به صورت اکتیو نمی‌باشد بلکه مقداری از آن کمتر است. رابطه ۲، ارتباط هندسی بین عرض دیوار، فاصله دو سر مسلح کننده‌ها و طول مسلح کننده‌ها را بیان می‌کند. شکل ۱ به صورت شماتیک، نمایی از دیوار خاک مسلح دوطرفه را نمایش می‌دهد.

$$D = H \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad \text{رابطه ۱}$$

$$W = D + 2l \quad \text{رابطه ۲}$$

$H$ : ارتفاع دیوار خاک مسلح (متر)،  $D$ : فاصله بین دو مسلح کننده (متر) (ژئوگرید)،  $L$ : طول مسلح کننده‌ها (متر)،  $W$ : عرض دیوار پشت‌به‌پشت (متر) (کوله خاکریز) و  $\Phi$ : زاویه اصطکاک داخلی خاک (درجه)



شکل ۱: نمای شماتیک دیوار خاک مسلح دوطرفه

## ۳- شرایط هندسی و مدلسازی

در این تحقیق، فاصله دو دیواره از یکدیگر ۱۲ متر، ارتفاع خاکریزی ۶ متر، عرض پی زیر دیوار ۱۵ متر و ارتفاع پی زیر دیوار ۱ متر می‌باشد. فاصله قائم بین ژئوگریدها ۰٫۶ متر و برای ژئوگریدها شش طول مختلف ۳٫۰، ۳٫۶، ۴٫۲، ۴٫۸، ۵٫۴ و ۶٫۰ متر در نظر گرفته شده است. به منظور مدلسازی و تحلیل حالات مختلف از نرم‌افزار FLAC 2D استفاده شده است. در دیوار پشت‌به‌پشت مدل شده پی و بلوک‌های دیواره از جنس بتن، خاکریز آن از جنس خاک درشت‌دانه و مسلح کننده‌های ژئوگریدی می‌باشد. مشخصات مربوط به خاک و بتن در جدول ۱ ارائه شده است. رفتار ژئوگریدها در محیط خاکی غالباً به صورت کشسانی

است، به همین دلیل در مدلسازی آن در این پروژه از المان کابل استفاده شده است. طبق نتایج حاصله از تحقیقات شینودا (۲۰۰۴) مدول الاستیسیته ژئوگرید مورد استفاده در مدلسازی‌های این مطالعه ۲۲۵ مگا پاسکال در نظر گرفته شده است.

جدول ۱: خواص مکانیکی خاک و بتن مدلسازی شده در این مطالعه

Material	Model	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	E (MPa)	Poisson's ratio	C (KPa)	$\Phi$
Backfill Soil	Mohr colomb	18	100	0.3	0	25
						30
						34
						39
Blocks and Foundation Concrete	Elastic	24	100	0.15	-	-

از مجموع ۲۴ مدلسازی انجام گرفته، مدل با طول ژئوگرید ۳،۰ متر در زاویه اصطکاک داخلی ۲۵ درجه ناپایدار بوده و فروریخته است.

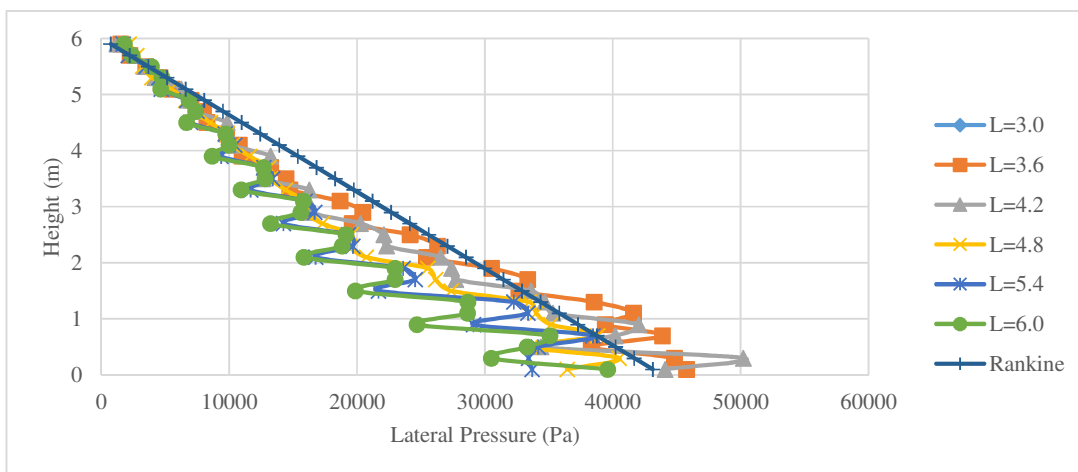
در جدول ۲ بر اساس رابطه ۱، مرز دیوار خاک مسلح پشت‌به‌پشت و دیوار خاک مسلح عادی برای زاویه اصطکاک‌های داخلی مورد بررسی ارائه شده است.

جدول ۲: بین مرز پشت‌به‌پشت در مدل‌های ساخته شده

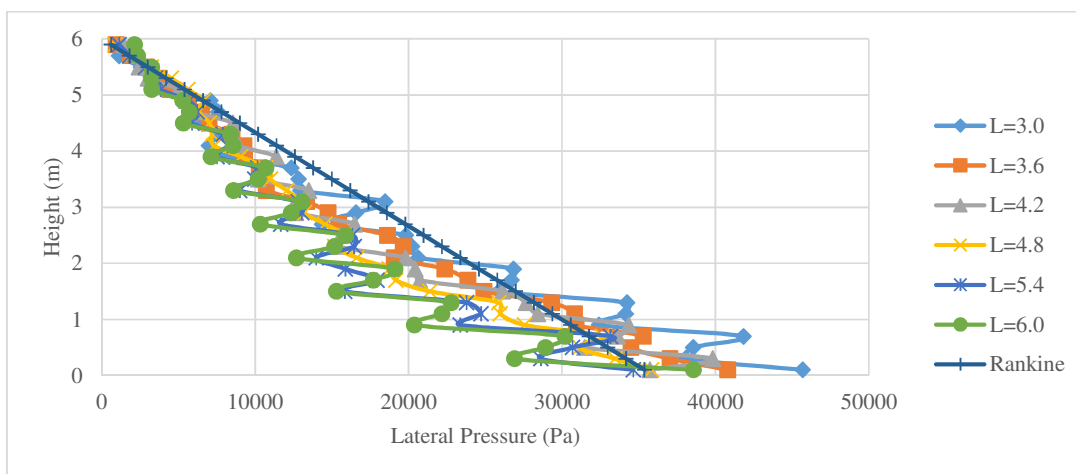
$\Phi$	D (m)	L (m)
25	3.82	4.09
30	3.46	4.27
34	3.19	4.41
39	2.86	4.57

#### ۴- توزیع فشار جانبی

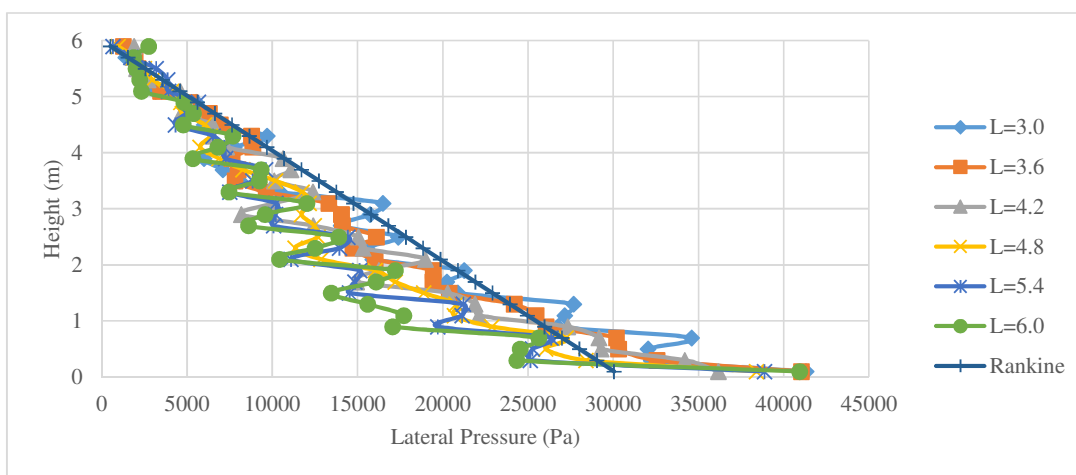
مهم‌ترین عامل در مقدار توزیع فشار جانبی پشت دیوار، زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌باشد. اما پس از تسلیح خاک به صورت پشت‌به‌پشت، طول عناصر تسلیح بر مقدار و توزیع فشار جانبی اثر گذار می‌باشند. نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ اثر تغییر طول بر توزیع فشار جانبی در چهار زاویه اصطکاک داخلی مورد بررسی را نمایش می‌دهند. با توجه به نمودارهای استخراج شده از مدلسازی و تحلیل‌ها، تا زمانی که طول ژئوگریدها کمتر از طول ورود به شرایط دیوار پشت‌به‌پشت باشند، میزان فشار جانبی با میزان فشار جانبی اکتیو رانکین که در آیین‌نامه ارائه شده است تطابق خوبی دارد، ولی با افزایش طول ژئوگریدها از میزان فشار جانبی وارد شده بر دیوار کاسته می‌شود.



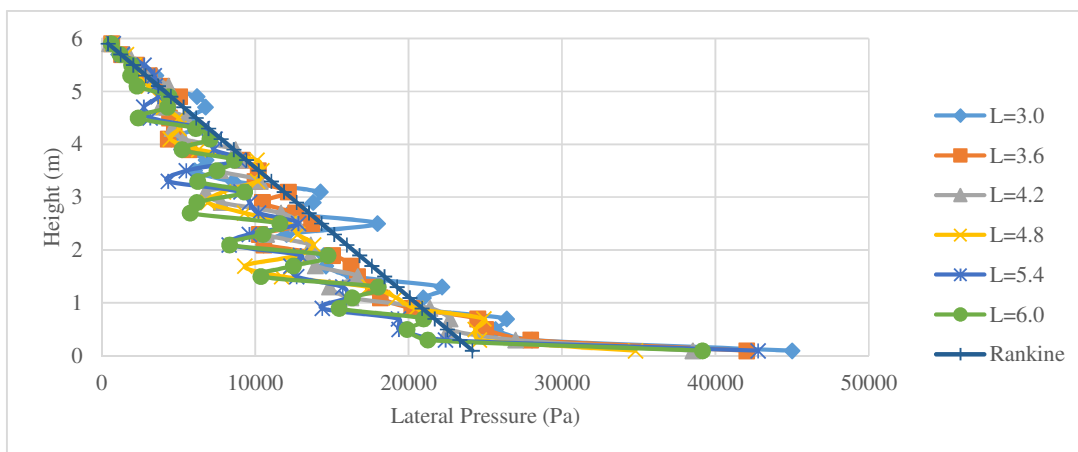
شکل ۲: توزیع فشار جانبی در طول‌های مختلف در خاک  $\Phi=25$



شکل ۳: توزیع فشار جانبی در طول‌های مختلف در خاک  $\Phi=30$

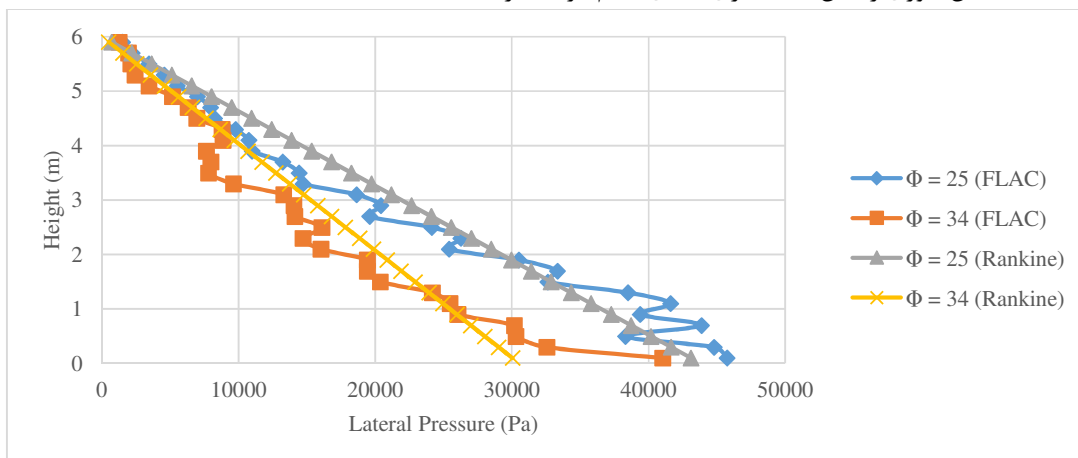


شکل ۴: توزیع فشار جانبی در طول‌های مختلف در خاک  $\Phi=34$

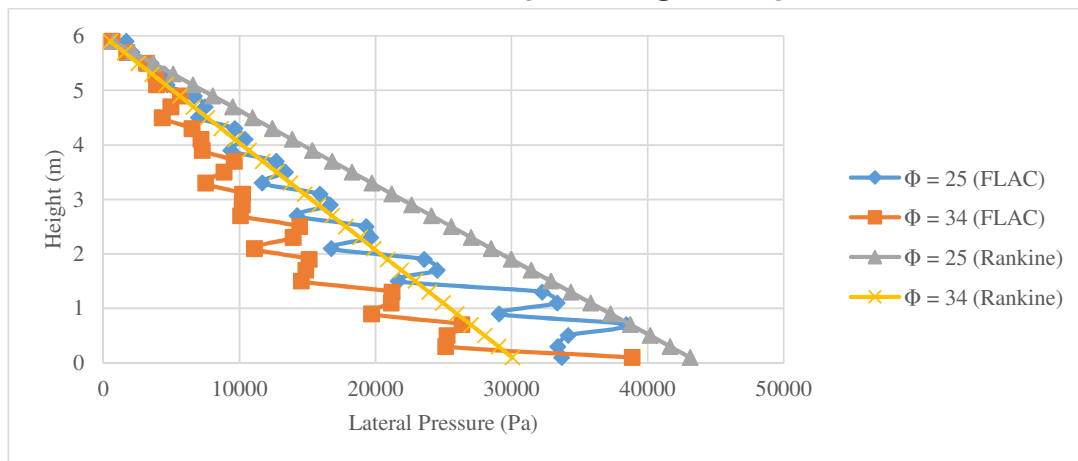


شکل ۵: توزیع فشار جانبی در طول‌های مختلف در خاک  $\Phi=39$

در نمودارهای ارائه شده در شکل ۶، توزیع فشار جانبی برای دو زاویه اصطکاک داخلی ۲۵ و ۳۴ درجه با طول ژئوگریدهای ۳٫۶ متر مشاهده می‌شود که نشان از نزدیکی مقادیر تئوری رانکین با مدلسازی عددی می‌باشد. در حالی که در نمودارهای ارائه شده در شکل ۷، که مربوط به توزیع فشار جانبی برای همین دو زاویه اصطکاک داخلی با طول ژئوگریدهای ۵٫۴ متر می‌باشد، بیان کننده اختلاف بین تئوری رانکین با مدلسازی عددی انجام گرفته دارد.



شکل ۶: مقایسه توزیع فشار جانبی تئوری رانکین با مدلسازی عددی با طول ژئوگرید ۳٫۶ متر



شکل ۷: مقایسه توزیع فشار جانبی تئوری رانکین با مدلسازی عددی با طول ژئوگرید ۵٫۴ متر

در آیین نامه صرفاً از میزان کاهش فشار جانبی در دیوارهای خاک مسلح پشت‌به‌پشت صحبت شده است و میزانی برای آن تعیین نشده است و برای طراحی دیوارهای خاک مسلح پشت‌به‌پشت مقادیر جدیدی ذکر نشده است و طراحی بر اساس تئوری رانکین صورت می‌گیرد. به همین علت، طراحی دیوارهای خاک مسلح پشت‌به‌پشت با استفاده از آیین نامه به صورت محافظه کارانه می‌باشد.

در جدول ۳ میزان فشار جانبی کل وارد بر پشت دیوار را بر اساس تئوری رانکین و سایر طول ژئوگریدها برای زوایای اصطکاک داخلی مختلف بیان شده است و در جدول ۴ درصد کاهش فشار جانبی با افزایش طول ژئوگریدها نسبت به تئوری رانکین در محدوده پشت‌به‌پشت، برای زوایای اصطکاک داخلی مختلف بیان شده است که نمودار آن در شکل ۸ ترسیم شده است. با توجه به نمودار شکل ۸، میزان کاهش فشار جانبی در حالت پشت‌به‌پشت نسبت به تئوری رانکین بسیار زیاد بوده و در طراحی‌ها غیرقابل چشم‌پوشی می‌باشد. به گونه‌ای که با افزایش طول ژئوگریدها، در حدود ۲۵٪ از میزان فشار جانبی کاسته می‌شود.

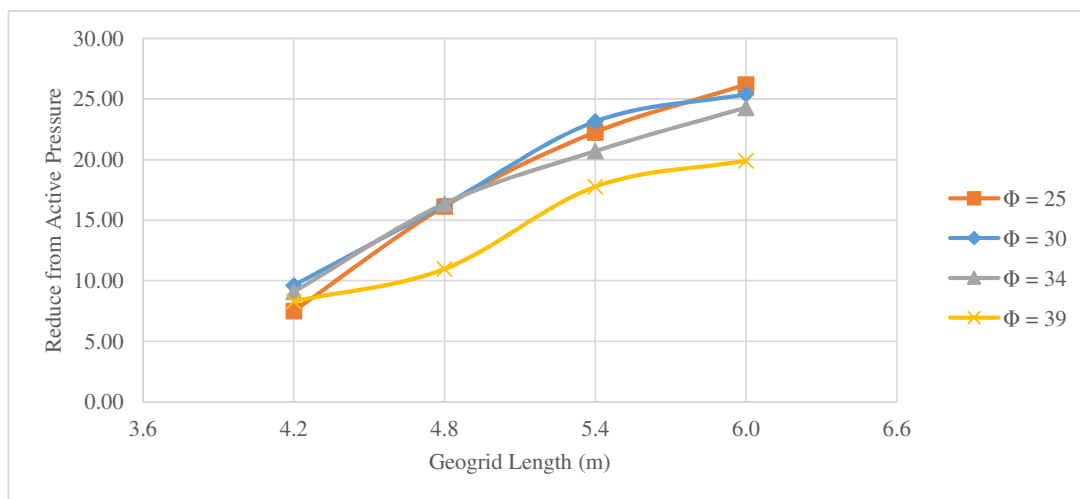
همچنین با توجه به نمودار شکل ۸ می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که در زاویه اصطکاک مشخص، با افزایش طول ژئوگرید، میزان فشار جانبی رانکین، در حالت پشت‌به‌پشت به صورت خطی کاهش می‌یابد.

جدول ۳: فشار جانبی کل پشت دیوار در طولها و زوایای اصطکاک داخلی مختلف

	Rankine	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0
25	1293.88	-	1252.50	1196.80	1084.94	1005.91	955.07
30	1061.24	1077.21	984.04	959.19	888.66	815.62	791.74
34	901.89	892.39	855.12	820.00	754.35	715.20	682.82
39	725.02	740.95	703.50	664.91	645.48	596.25	580.72

جدول ۴: میزان کاهش فشار جانبی دیوار خاک مسلح پشت‌به‌پشت با افزایش طول ژئوگرید

	4.2	4.8	5.4	6.0
25	7.50	16.15	22.26	26.19
30	9.62	16.26	23.14	25.39
34	9.08	16.36	20.70	24.29
39	8.29	10.97	17.76	19.90



شکل ۸: کاهش نسبی فشار جانبی با افزایش طول ژئوگرید در حالت پشت‌به‌پشت

#### ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات صورت گرفته و نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در دیوارهای خاک مسلح دوطرفه با افزایش طول ژئوگریدها، مکانیزم رفتار دیوار خاک مسلح از حالت مستقل به حالت پشت‌به‌پشت تبدیل می‌شود و از میزان فشار جانبی پشت دیوار کاسته می‌شود. با کاسته شدن از میزان فشار جانبی، از میزان جابه‌جایی‌های افقی دیوار و همچنین میزان نیروی وارد بر مسلح کننده‌ها کاسته می‌شود. با این حال آیین‌نامه بر اساس تئوری رانکین به طراحی این نوع از دیوارها می‌پردازد که این نوع طراحی برای دیوارهای پشت‌به‌پشت محافظه کارانه می‌باشد. و بر اساس نمودارهای حاصله از این تحقیق و براساس زاویه اصطکاک خاک و طول ژئوگریدها حداقل ۱۵٪ کاهش فشار جانبی در پشت دیوارها در حالت پشت‌به‌پشت پیش می‌آید که در آیین‌نامه لحاظ نشده است. و به همین دلیل طراحی به روش آیین‌نامه، طراحی بهینه محسوب نمی‌شود.

#### مراجع

بخش مراجع آخرین قسمت مقاله خواهد بود که به آن شماره عنوان اختصاص داده نمی‌شود. مراجع در این قسمت به ترتیبی که در متن به آنها ارجاع داده شده است و شماره‌گذاری شده‌اند، لیست می‌شوند. اشاره به هر مرجع در داخل متن باید با ذکر شماره ترتیبی مستقل در داخل کروه انجام یافته باشد. فونت مورد استفاده برای مراجع فارسی (B Nazanin 11pt) و برای مراجع انگلیسی مثل سایر قسمت‌های مقاله با یک اندازه کمتر (Times New Roman 10pt) خواهد بود. بعد از ذکر مشخصات هر مرجع (6pt) فاصله با مرجع بعدی الزامی است. مشخصات هر مرجع باید به صورت کامل و استاندارد مطابق نمونه‌های زیر ارائه شود.

- [1] Adams, M. et all. (2012) "Geosynthetic Reinforced Soil Integrated Bridge System Interim Implementation Guide", Research report No. FHWA-HRT-11-026. Federal Highway Administration.
- [2] Elias, V. Christopher, Ryan .R. Berg. (2001) "Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines" Research report No. FHWA-NHI-00-043. Federal Highway Administration.
- [3] Ryan R. Berg, Christopher, B.R., Barry, R. (2009) "Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes" Publication No. FHWA-NHI-10-043. Federal Highway Administration.
- [4] Sanjay K. Shukla, Nagaratnam Sivakugan and Braja M. Das (2011), "A state-of-the-art review of geosynthetic reinforced Slopes". International Journal of Geotechnical Engineering (2011) 5: (17-32)

- [5] Han, J. and Leshchinsky, D. (2010). "Analysis of back-to-back mechanically stabilized earth walls," Geotextiles and Geomembranes, Vol 28, pp. 262-267.
- [6] Hardianto, F. and Truong, K. (2010) "Seismic deformation of back-to-back mechanically stabilized earth (MSE) walls" Earth Retention Conference 3, Bellevue, Washington, United States, pp. 704-711.
- [7] Katkar, H. Viswanadham, B. (2011) "Some studies on the behaviour of back-to-back geosynthetic reinforced soil walls", Proceedings of Indian Geotechnical Conference, Kochi, pp. 911-914.
- [8] El-Sherbiny, R. Ibrahim, E. Salem, A. (2013) "Stability of Back-to-Back Mechanically Stabilized Earth Walls" Geo-Congress 2013, San Diego, California, United States, pp. 555-565.
- [9] Sadok Benmebarek, Samir Attallaoui, Naïma Benmebarek (2016) "Interaction analysis of back-to-back mechanically stabilized earth walls" Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol 8, pp. 697-702.
- [10] Itasca (2011), "User's guide Fast Lagrangian Analysis of Continua- FLAC" ver. 7.0, Itasca Ltd
- [11] Masahiro Shinodaa, Richard J. Bathurst (2004), "Lateral and axial deformation of PP, HDPE and PET geogrids under tensile load", Geotextiles and Geomembranes, Vol 22, Issue 4, pp. 205-222.