



استفاده از روش قطعات افقی برای پیش بینی تغییر مکان لرزه ای شیب ها و دیوارهای مسلح

صبا شهرزاد^۱، علی قنبری^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه خوارزمی

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه خوارزمی

sabashhrzad@khu.ac.ir

ghanbari@khu.ac.ir

خلاصه

تنوری های متعددی در زمینه ی تغییر مکان شیب ها و دیوارهای حائل وجود دارد مانند: نیومارک، ریچارد و استفاده از خاک مسلح در طراحی دیوار های حائل و شیروانی ها، روشی است که در سال های اخیر متداول شده است. در بعضی جاها سازه های حائل از قبیل دیوارهای نگهبان و شیب های خاک مسلح در مناطق فعال لرزه ای قرار گرفته اند و در اثر زلزله دچار تغییر مکان های دائمی می گردند به طوری که بعضی از این سازه ها در هنگام زلزله گسیخته شده و خسارات متعددی را بر جای می گذارند، به همین دلیل بررسی رفتار لرزه ای این گونه سازه ها امری بسیار مهم تلقی می شود. روشی که در این پژوهش برای محاسبه ی تغییر مکان ماندگار شیب های خاکی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت، روش قطعات افقی می باشد. روش قطعات افقی یکی از مهم ترین روش ها در تحلیل شیب های خاکی است، که بر پایه ی تعادل حدی ارائه شده است.

با توجه به مطالب فوق، در این مقاله تلاش خواهد شد تا راهکاری برای محاسبه ی تغییر مکان ماندگار شیب های خاکی به روش قطعات افقی ارائه گردد. در نهایت نتایج بدست آمده با نتایج سایر محققین مقایسه خواهد شد. سعی خواهد شد با تحلیل های متعدد فرمول ها یا نمودارهایی برای استفاده های کاربردی ارائه شود.

کلمات کلیدی: تحلیلی، تغییر مکان لرزه ای، دیوارهای حائل مسلح شده، روش قطعات افقی

۱. مقدمه

سازه های حائل از قبیل دیوارهای نگهبان و شیب های خاک مسلح در سراسر مناطق فعال لرزه ای استفاده می شوند. استفاده از خاک مسلح در طراحی شالوده ها و سازه های حائل روشی است که در سال های اخیر متداول شده است. خاک مسلح عبارت است از مسلح کردن خاک به وسیله عناصر کشی نظیر میلگرد، تسمه فولادی و یا ژئوتکستایل که این ایده و روش تحلیل و طراحی آن توسط یک مهندس فرانسوی به نام ویدال (۱۹۶۶) بنا نهاده شد. شناخت رفتار خاک مسلح در حین زلزله جهت طراحی بهینه و مقرون به صرفه آن حائز اهمیت می باشد چراکه کارایی دیوارها بعد از زلزله به مقدار زیادی به تغییر شکل آنها در خلال زلزله بستگی دارد.

Newmark (1965) اولین کسی بود که با نوشتن معادلات تعادل برای گوه گسیختگی به محاسبه ضریب شتاب لرزه ای افقی بحرانی و محاسبه تغییر مکان ماندگار لرزه ای پرداخت. او با فرض صلب بودن گوه گسیختگی و نوشتن روابط تعادل، با مساوی قرار دادن ضریب اطمینان برابر یک، ضریب شتاب لرزه ای افقی را محاسبه کرده و با دوبرابر انتگرال گیری از تفاضل شتاب نکاشت و شتاب تسلیم، تغییر مکان ماندگار را برای گوه ی مورد نظر محاسبه کرد. همچنین Richards and Elms (1979) روشی برای به دست آوردن تغییر مکان لرزه ای دیوارهای حائل ثقلی ارائه دادند. اما با مسلح سازی خاک دیگر روش های محاسبه پارامترهای خاک که در گذشته استفاده می شدند قابل استناد نبودند و مسلح سازی باعث تغییر در رفتار



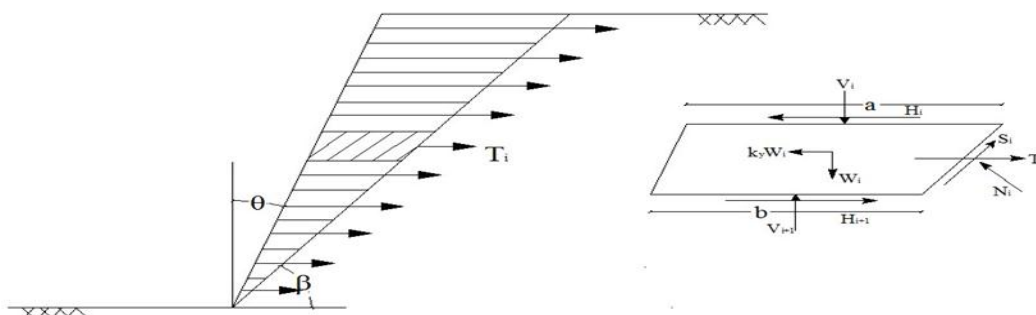
خاک می‌شد چون مسلح‌سازی در جهت افزایش مقاومت خاک می‌باشد، پس استفاده از تحلیل‌های قبلی نیز مقرون به صرفه نبودند. بر این اساس Michalowski and You. (2000) به روش آنالیز حدی و با فرض مد گسیختگی اسپیرال به بررسی تغییر مکان شیب‌های مسلح شده پرداختند. Ausilio et al. (2000) با روش آنالیز حدی و با در نظر گرفتن مودهای مختلف گسیختگی به ارائه روابطی جهت محاسبه شتاب تسلیم پرداختند و نحوه طراحی مسلح‌کننده‌ها را با در نظر گرفتن تغییر مکان مجاز تشریح نمودند.

روش‌های مورد استفاده در تحلیل‌های پایداری عمدتاً به روش‌های حدی مبتنی بر رفتار صلب خمیری و تحلیل‌های عددی مبتنی بر رفتار ارتجاعی - خمیری محدود می‌گردند. روش‌های حدی شامل روش خطوط لغزش (Slip Line Method)، روش تعادل حدی و روش آنالیز حدی می‌باشد. مزیت عمده آنها یافتن حلی بسته و عام در مسائل کاربردی است. تا کنون هیچ یک از روش‌های حدی به گستردگی روش تعادل حدی به کار گرفته نشده‌اند. این روش را نخستین بار کولمب (Coulomb) در اواخر قرن هجدهم در مسائل مکانیک خاک به کار برد. در این روش ابتدا یک مکانیسم گسیختگی فرضی در نظر گرفته شده، بار حدی به کمک حل معادلات تعادل توده در حال گسیختگی تعیین می‌شود. مقدار بهینه این بار با تغییر مکانیسم گسیختگی بدست می‌آید. در روش آنالیز حدی یک سازه‌ی الاستیک - پلاستیک کامل که تحت بارگذاری تدریجی خارجی در سطح خود قرار دارد، در نظر گرفته می‌شود. هنگامی که بارها به یک مقدار بحرانی می‌رسند، گسیختگی پلاستیک (plastic collapse) اتفاق افتاده و باعث می‌شود که سازه دیگر توانایی مقاومت در برابر بارهای خارجی را نداشته باشد. این حالت بحرانی، حالت بار حدی نامیده می‌شود. در این حالت، تعادل انرژی مورد نظر است.

۲. روش قطعات افقی

روش قطعات افقی یکی از مهم‌ترین روش‌ها در تحلیل یک شیب‌های خاکی می‌باشد، که بر پایه تعادل حدی ارائه شده است. در این روش، گوه گسیختگی به تعدادی قطعه افقی تقسیم شده و تعادل برای هر قطعه در جهات مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. ایده این روش اولین بار توسط شاهقلی و همکاران (2001) مطرح شد و سپس افرادی مانند نوری و همکاران (2007)، آزاد و همکاران (2008)، ردی و همکاران (2008) و شکاریان و همکاران (2008) با استفاده از این روش به تحلیل لرزه‌ای شیب‌های مسلح و غیر مسلح پرداختند. هم چنین قنبری و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از این روش، ایده‌ای جهت محاسبه‌ی تغییر مکان لرزه‌ای شیب‌های خاکی ارائه داده‌اند.

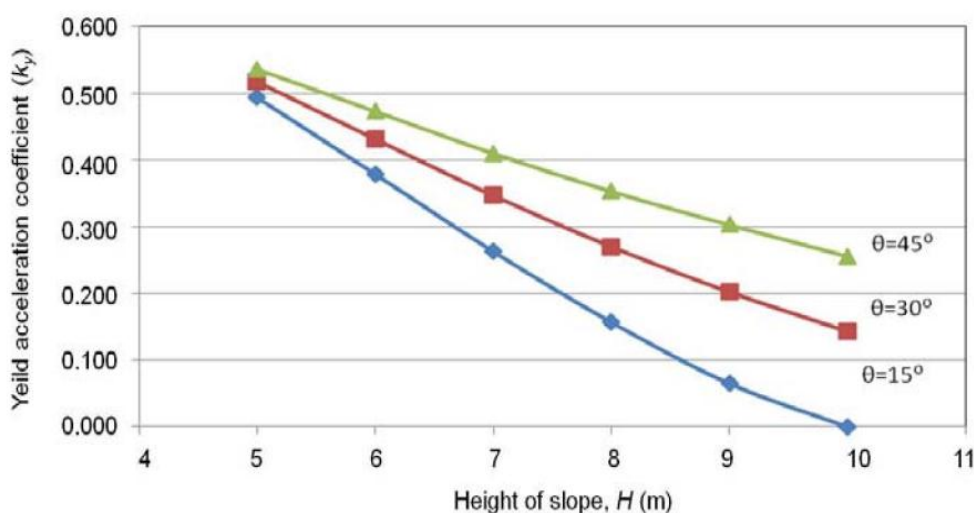
در این روش، گوه گسیختگی به تعدادی قطعه افقی تقسیم شده و تعادل برای هر قطعه در جهات مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۱) و سپس با استفاده از روش تحلیلی نیومارک تغییر مکان ماندگار را در شیب‌های خاکی بدست آورده، با فرض مکانیسم گسیختگی صفحه‌ای و با استفاده از روش قطعات افقی و تقسیم گوه گسیختگی به قطعات افقی موازی و نوشتن تعادل برای کل قطعات در جهات مختلف مقدار شتاب تسلیم (Ky) در حالت ضریب اطمینان واحد با استفاده از نرم افزار Matlab بدست می‌آید و سپس با استفاده از تئوری بلوک لغزش نیومارک و قراردادن شتاب تسلیم در شتاب نگاشت و دو بار انتگرال گیری مقدار تغییر مکان دائم شیب مورد محاسبه قرار می‌گیرد.



شکل ۱- شیب نمونه برای تحلیل به روش قطعات افقی، قطعه جدا شده و نیروهای وارد بر آن



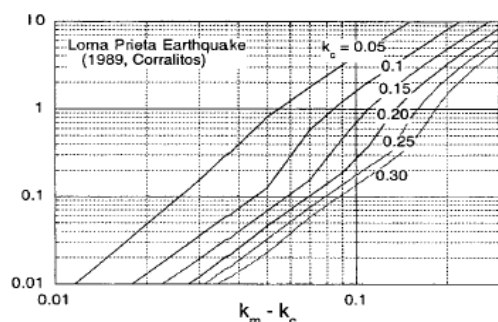
بر اساس این روش، تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت پذیرفته است که از آن جمله می توان به تحقیقات صورت پذیرفته توسط دانشجویان دانشکده فنی دانشگاه خوارزمی اشاره کرد. (Ghanbari et al. (۲۰۱۳) از روش قطعات افقی برای برآورد شتاب تسلیم شیب های خاک مسلح استفاده کردند. برای انجام این کار به روش قطعات افقی توزیع مسلح کننده ها در ارتفاع، یکنواخت فرض شده ولی مقاومت مسلح کننده ها در ارتفاع شیب از بالا به پایین به طور خطی افزایش می یابد. با این فرضیات و فرض سطح لغزش صفحه ای، گوه گسیختگی به π قطعه مساوی (که هر قطعه در بر گیرنده یک مسلح کننده می باشد) تقسیم شده و معادلات تعادل برای هر قطعه نوشته شده است. در شکل ۲ اثر زاویه θ و ارتفاع شیروانی (H) بر مقدار ضریب شتاب تسلیم (k_y) نشان داده شده است.



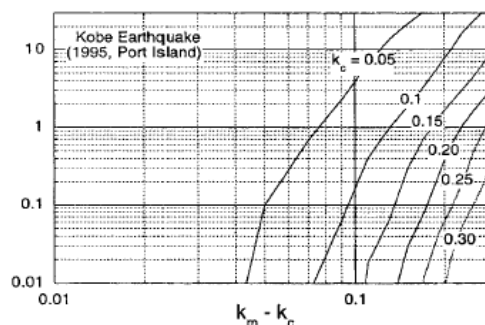
شکل ۲. منحنی توزیع شتاب تسلیم در ارتفاع برای شیبی با مشخصات $\Sigma T=250\text{kN/m}$, $\phi=30$

۳. روش های برآورد تغییر مکان لرزه ای

در چند سال گذشته روش های متفاوتی برای برآورد تغییر مکان لرزه ای دیوارهای خاک مسلح ارائه شده است. (Michalowski and You (۲۰۰۰) به بررسی آنالیز پایداری شیب های مسلح تحت بار های لرزه ای پرداختند. در این تحلیل، با استفاده از روش سینماتیکی آنالیز حدی و فرض گوهی گسیختگی دورانی و لغزشی، شتاب تسلیم دیوار را بدست آوردند. تغییر مکان ماندگار شیب های مسلح تحت ۴ شتاب نگاشت مختلف و با استفاده از روش نیومارک بدست آمد (شکل ۳).



(a)



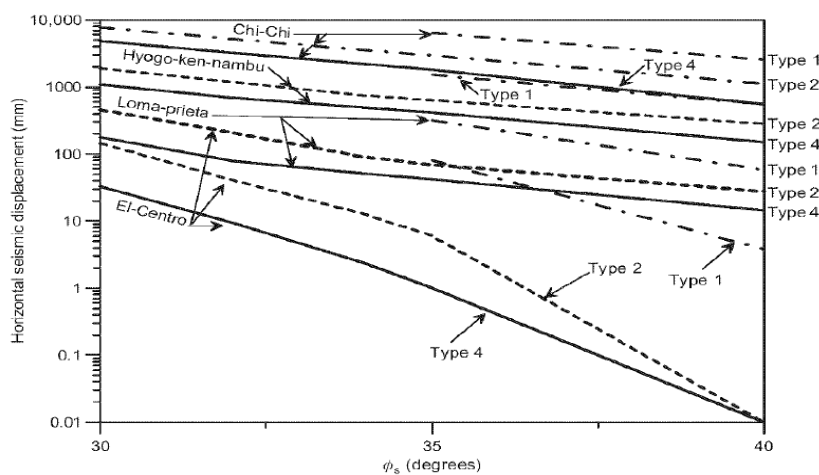
(b)

شکل ۳. تغییر مکان شیب مسلح تحت زلزله‌های مختلف :

Kobe EQ (b); Loma Prieta EQ (1989) (a)

(Michalowski and You 2000)

Huang and Wang (2005) با استفاده از روش شبه استاتیکی و تحلیلی مبتنی بر تعادل حدی، تاثیر مکانیکی اجزای رویه در تغییر مکان لرزه ای دیوار های خاکریز مسلح غیر چسبنده را، مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور، این محققین با استفاده از روش تعادل حدی و با فرض گسیختگی دو گونه ای اصلاح شده، تغییر مکان لرزه ای دیوار های حائل را برای ۴ نوع رویه ی مختلف انعطاف پذیر تا صلب بدست آوردند و تغییر مکان لرزه ای دیوار حائل بر اساس ۴ شتاب نگاشت مختلف بدست آمد (شکل 4). نوع اول دیوار با رویه انعطاف پذیر و نوع چهارم دیوار با رویه صلب است و نوع سوم و دوم مابین این دو بازه قرار دارند و نتایج برای $\frac{L}{H} = 0.4$ ارائه گردیده است.

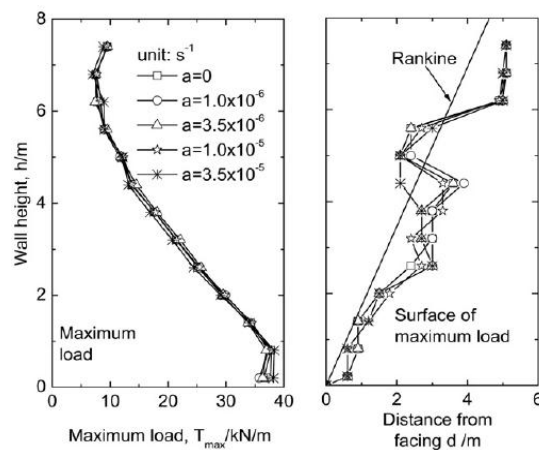


شکل ۴. نمونه محاسبات تغییر مکان لرزه ای دیوار با رویه های مختلف تحت رکورد زلزله های مختلف (Huang and Wang 2005)

Liu et al. (2011) در این مقاله بر اساس آنالیز اجزا محدود به بررسی نیروی وارد بر مسلح کننده ها و مد تغییر شکل آن ها وقتی در طول بهره برداری خود (گذشت چند سال از خزش خاک و مسلح کننده ها) در معرض زلزله قرار می گیرند، پرداختند. خاکریز پشت دیوار دارای چسبندگی می باشد و دارای نشانه خمیری با PI بزرگتر از ۶ می باشد که ممکن است دچار خزش قابل توجهی تحت بارهای استاتیکی قبل از وقوع زلزله گردد. شکل ۵ تاثیر اثر خزش بر نیروی مسلح کننده ها در ارتفاع دیوار نشان داده شده است. در مدل کردن اجزا محدود، دیواری به طول هشت متر مورد

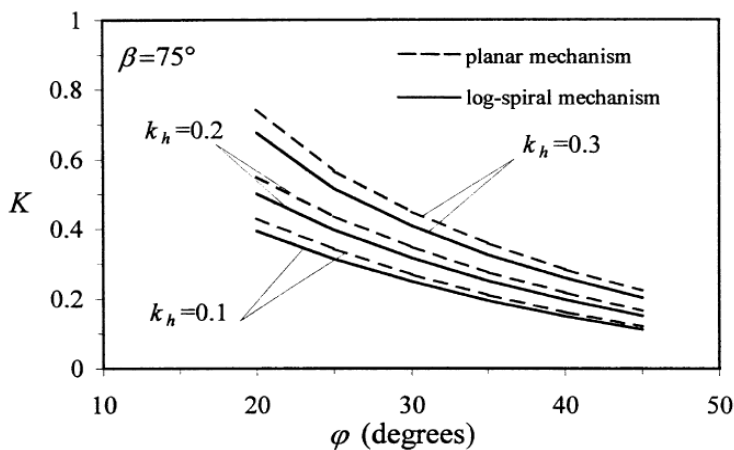


آنالیز قرار گرفت و در آن بلوک های مدولار به ارتفاع ۲۰ سانتیمتر و عرض ۳۰ سانتیمتر به عنوان رویه مدل شد و این مدل سازی در دو مرحله صورت گرفت. در مرحله اول خزش تحت بارهای استاتیکی بدست آمد و در مرحله دوم سازه در معرض زلزله قرار گرفت.

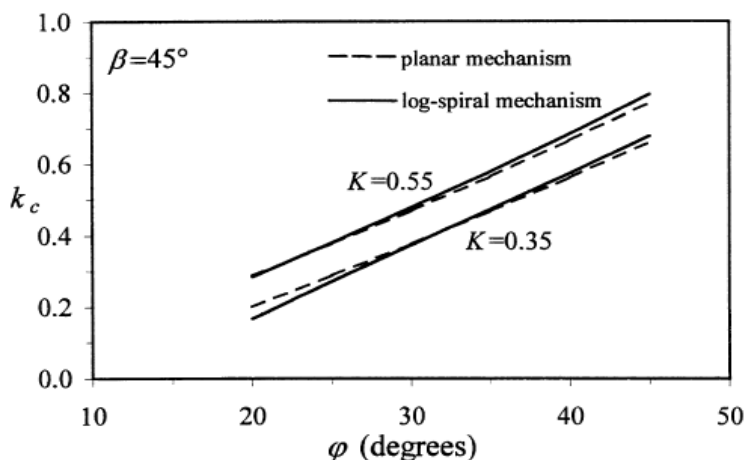


شکل ۵. از چپ به راست: تاثیر خزش خاکریز بر نیروی مسلح کننده ها و محل نیروی ماکزیمم مسلح کننده ها در ارتفاع دیوار (Liu et al. (2011))

Ausilio et al. (2000) با در نظر گرفتن مودهای مختلف گسیختگی اسپیرال-لگاریتمی و صفحه‌ای با استفاده از روش آنالیز حدی روابطی برای تعیین ضریب شتاب تسلیم شیروانی های خاکریز مسلح در حالتی که توزیع مسلح کننده ها یکنواخت باشد، ارائه نمودند. نمونه‌ای از نتایج بدست آمده از تحقیقات این محققین در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است. همچنین در روابط فوق β زاویه شیب نسبت به افق، φ زاویه اصطکاک داخلی و K نیروی کلی مسلح کننده ها می باشد.



شکل ۶. نمونه‌ای از منحنی نیروی کلی مسلح کننده‌ها در برابر زاویه اصطکاک (Ausilio et al. 2000)



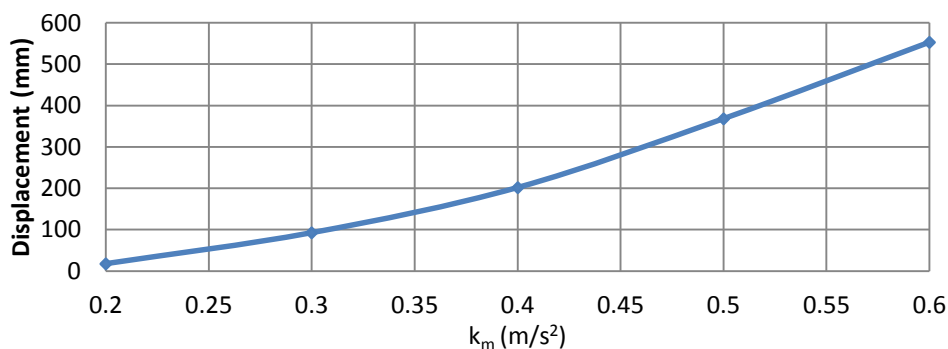
شکل ۷. نمونه‌ای از منحنی شتاب تسلیم در برابر زاویه اصطکاک خاک (Auselio et al. 2000)

Mojallal and Ghanbari (2012) بر اساس روش آنالیز حدی سینماتیکی و با استفاده از تئوری کران بالا به ارائه منحنی های کاربردی برای

تعیین ضریب شتاب تسلیم سازه و تعیین تغییر مکان دیوار حائل از نوع صلب و وزنی پرداخته اند. برای محاسبه تغییر مکان از روش بلوک لغزش

نیومارک (Newmark 1965) استفاده شده است. این محققین به بررسی تاثیر ضریب شتاب بیشینه زلزله بر تغییر مکان لرزه ای دیوار حائل پرداخته

اند (شکل ۸). هم چنین این محققین تغییر مکان ماندگار دیوار را برای رکورد های حوزه ی دور و نزدیک مورد مطالعه قرار داده اند.



شکل ۸. بررسی اثر ضریب شتاب بیشینه زلزله بر روی تغییر مکان ماندگار دیوار حائل (Mojallal and Ghanbari (2012)

امین پور (1392) شتاب تسلیم و تغییر مکان ماندگار دیوارهای حائل صلب (یا وزنی) را در حضور سربار بدست آورد. فرمولاسیون پیشنهادی او بر

اساس روش آنالیز حدی سینماتیکی و با استفاده از تئوری کران بالا ارائه شده است. در این تحلیل فرض می شود که گوهی گسیختگی صلب و زاویه

اصطکاک داخلی بین دیوار و خاک، در طول دیوار برابر δ و در پی دیوار ϕ_b باشد و نیروی اینرسی زلزله به صورت شبه استاتیکی به دیوار و خاک

وارد شود.



۴. نتیجه گیری

در جدول ۱ به مقایسه ی مقادیر شتاب بحرانی بدست آمده به روش پیشنهادی خلیل پاشا و همکاران (۲۰۱۰)، حیدری و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از (روش قطعات افقی) و روش پیشنهادی (Asuilio et al. (2000) (آنالیز حدی) برای شیب مسلح شده پرداخته شده است. نتایج حاصل از روش قطعات افقی مطابقت خوبی را با روش (Ausilio et al. (2000) نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقایسه مقادیر ضریب شتاب لرزه ای بحرانی به روش پیشنهادی (شیب قطعات افقی) حیدری و خلیل پاشا با Ausilio et al. (آنالیز حدی) برای شیب مسلح شده با فرض $\theta=15^0$, $\Sigma T=90$ kN/m, $\gamma=18$ kN/m³ و $H=10$ m

ϕ (deg.)	K_y			
	روش قطعات افقی		Ausilio et al.(2000)	
	Khalilpasha (2010)	Heydari	Rotational mode	Translational mode
20	0.068	0.0694	0.093	0.067
22	0.107	0.108	0.13	0.108
24	0.145	0.1459	0.166	0.146
26	0.182	0.183	0.203	0.183
28	0.219	0.2193	0.239	0.219
30	0.255	0.2551	0.276	0.255
32	0.290	0.2906	0.313	0.29
34	0.325	0.3258	0.349	0.325
36	0.360	0.3603	0.386	0.36
38	0.394	0.3959	0.422	0.395
40	0.429	0.4309	0.459	0.43

در جداول 2 به مقایسه شتاب تسلیم با روش‌های آنالیز حدی شامل تحقیقات (Mojalal and Ghanbari(2012) و Michalowski (2007) در حالت عدم حضور سر بار پرداخته شده است.

جدول ۲- مقایسه میان k_y بدست آمده از روش پیشنهادی و روش (Mojalal and Ghanbari(2012) و روش

Michalowski (2007)

$\gamma_{wall}=24$ kN/m³, $\gamma_s=20$ kN/m³, $\phi=30$, $\phi_b=30$, $\delta=20$, $T_w=0.3$ m, $B_w=0.6H$

k_m	Northridge earthquake	Height of wall H (m)	Yeild Acceleration Coefficient, K_y		
			Proposed method	Mojallal and Ghanbari (2012)	Michalowski (2007)
0.344g		3	0.187	0.181	0.180
		5	0.175	0.169	0.169
		7	0.169	0.163	0.163
		10	0.164	0.159	0.159



۵. مراجع

۱. Newmark, N.M. (1965), "Effects of earthquakes on dams and embankments," *Geotechnique*, 15(2), pp 139-159.
۲. Richards, R. and Elms, D.G. (1979), "Seismic behavior of gravity retaining walls," *J of the Geotechnical Engineering. Division, ASCE*, 105(4), pp449-464.
3. Michalowski, R.L. and You, L. (2000), "Displacements of reinforced slopes subjected to seismic loads," *J of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 126(8), pp 685-94.
4. Ausilio, E., Conte, E., Dente, G. (2000), "Seismic stability analysis of reinforced slopes," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 19 (3), pp159-172.
5. Ghanbari, A., Khalilpasha, A., Sabermahani, M., Heydari, B, (2013), "An analytical technique for estimation of seismic displacements in reinforced slopes based on horizontal slices method (HSM)". *Geomechanics and Engineering* 5 (2), pp143-164.
6. Huang, C.C., Wang, W.C. (2005), "Seismic displacement charts for the performance-based assessment of reinforced soil walls," *Geosynthetics International* 12 (4), pp176-190.
7. Liu, H., Wang, X., Song, E. (2011), "Reinforcement load and deformation mode of geosynthetic-reinforced soil walls subject to seismic loading during service life," *Geotextiles and Geomembranes* 29, pp1-16.
8. Mojallal, M and Ghanbari, A. (2012), "Prediction of seismic displacements in gravity retaining walls based on limit analysis approach," *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 42, No. 2, pp247-267

۹. امین پور، م. (۱۳۹۲). "تغییر مکان لرزه ای دیوارهای خاک مسلح در حضور سربار بر اساس روش آنالیز حدی"، پایان نامه کارشناسی

ارشد، دانشگاه خوارزمی، تهران.