

بررسی جابجایی بین میخ و خاک در شیب های میخ کوبی شده تحت بارهای دینامیکی

سینا حاجتی ضیابری^{1*}، علی عبداللهی²

1- دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

2- کارشناسی ارشد عمران - ژئوتکنیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات اراک

Si_ha107@stu.um.ac.ir

چکیده

دیوار های میخکوبی شده به صورت گسترده در پایدارسازی گودبرداری ها و شیب ها استفاده می شود . این روش موجب افزایش مقاومت برشی توده خاک و محدود کردن تغییر مکانهای احتمالی توده خاک می شود . در این زمینه، مسئله ای که کمتر به آن پرداخته شده، اثرات نیروهای دینامیکی بر روی سیستم های میخ کوبی شده می باشد . بنابراین لازم است تاثیر زلزله بر روی رفتار و عملکرد شیب های میخ کوبی شده مورد بررسی قرار گیرد. حداکثر جابجایی افقی و عمودی بین میخ و خاک تحت شتاب نگاشت های به کمک شبیه سازی در نرم افزار ABAQUS انجام گرفته است. سپس مطالعه پارامتریک انجام شده روی عوامل موثر بر جابجایی افقی و عمودی بین میخ و خاک شیب میخ کوبی شده نشان داده شد، که با افزایش پارامترهای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک و مدول الاستیسیته، حداکثر جابجایی افقی و قائم بین میخ و خاک کمتر شده، که در این میان نقش زاویه اصطکاک داخلی خاک در کاهش این جابجایی ها موثرتر از نقش چسبندگی خاک و مدول الاستیسیته می باشد. ضمناً اثر ارتفاع شیب و فاصله میخها نیز بر روی حداکثر جابجایی افقی و قائم بین میخ و خاک مورد بررسی قرار گرفته که با افزایش ارتفاع شیب، افزایش یافته و با افزایش فاصله میخها، نیز افزایش داشته اند و فاصله معقول برای میخها تعیین شده است.

کلمات کلیدی: جابجایی شیب، میخ کوبی، بارهای دینامیکی، اجزا محدود.

۱- مقدمه

روش میخ کوبی خاک برای مسلح کردن و مقاوم سازی توده خاک در هر یک از مراحل حفاری با استفاده از دوختن یک سری مهار کششی فولادی با فواصل نزدیک به هم در توده خاک می باشد [۱]. میخ کوبی در مستحکم کردن و تثبیت شیب ها و ساختارهای محافظ زمین در بسیاری از کشورها مورد کاربرد است. تجزیه و تحلیل فعل و انفعال بین یک میخ متصل به خاک و خاک اطراف آن هم در مهندسی طراحی و هم در تحقیقات از توجه خاصی برخوردار شده است. [۲]. در این زمینه، مسئله ای که کمتر به آن پرداخته شده، اثرات نیروهای دینامیکی بر روی سیستم های میخ کوبی شده می باشد. این سازه ها رفتار لرزه ای مطلوبی از خود نشان می دهند بطوریکه حتی در زلزله های قوی گسیخته نمی شوند و استفاده از دیوار میخ کوبی برای رساندن پایداری سیستم های نگه داری تحت شرایط زلزله مطلوب است. [۳]. گسل عمده زلزله در مجاورت دیوار میخ کوبی، مستلزم تهیه آنالیز دینامیکی برای بهتر شدن ارزیابی رفتار دیوار در طی رخداد زلزله است [۴]. فشارهای جانبی دینامیکی که بعلاوه زلزله بر سازه های حائل صلب وارد آمده باعث بروز خسارات زیادی در گذشته شده است. با توجه به زلزله خیز بودن کشور، توجه بیشتری به بحث عملکرد سیستمهای میخ کوبی تحت اثر بارهای دینامیکی، خصوصاً زلزله معطوف شده است [۵]. در این مقاله به بررسی مقادیر حداکثر جابجایی افقی و قائم بین میخ و خاک پرداخته شده است.

مدل اول که به عنوان مدل مبنا شناخته می شود و با هندسه و مشخصات معلوم تعریف گردیده است، زاویه شیب ۸۰ درجه و ارتفاع مدل ۳۰ متر (ارتفاع شیب ۹.۵ متر) می باشد. در این مدل از ۶ میلگرد با قطر ۳۰ میلی متر و طول ۷.۷ متر و زاویه ۱۵ درجه نسبت به افق با فواصل ۱.۵ متر استفاده گردیده و یک شاکریت به ضخامت ۱۰ سانتی متر روی شیب کشیده شده است. به علت اینکه تحلیلها در این مقاله به صورت دوبعدی میباشد، فرض بر این است که، تمامی میخ ها با فواصل یکسان در امتداد یکدیگر در جهات افقی و عمودی قرار گرفته

اند و مشخصات میلگردها با توجه به اندازه فاصله بین آنها مقیاس گردیده است. مدلهای متفاوتی با تغییر پارامترهای خاک و تغییر هندسه و آرایش میلگردها نسبت به مدل مبنا ساخته شده اند. در این مدلها، تاثیر پارامترهای خاک، ارتفاع شیب و فواصل میخ ها بر پاسخ دینامیکی مورد توجه قرار گرفته اند. این مدلها همراه مدل مبنا به بررسی اثر هر یک از عوامل ذکر شده می پردازد، در واقع برای بررسی اثر هر یک از متغیرها سه مدل موجود می باشد. نرم افزار مورد استفاده در این تحلیل ABAQUS می باشد. این نرم افزار با کاربردهای فراوان از جمله در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه، تغییر شکلهای بزرگ، مدلهای رفتاری مختلف خاک و ... نسبت به دیگر نرم افزارها از قابلیت‌های بیشتری برخوردار است.

۲. مشخصات مصالح و مدلسازی

برای شبیه سازی محیط خاکی از مدل الاستوپلاستیک موهر-کولمب استفاده گردیده است. مشخصات خاک، در جدول شماره ۱ ارائه شده است. برای مش بندی مدل از مثلث های ۶ گره ای استفاده شده است. علت استفاده از مثلث های ۶ گره ای به این دلیل است که این نوع مش بندی برای دقت بیشتر مسأله بهتر است. برای شاتکریت المانهای سازه‌های تیر، با رفتار الاستیک خطی، استفاده شده است. مشخصات ارائه شده مقادیر معمول برای مصالح مورد استفاده در طراحی شبیه‌های مسلح میباشند.

جدول شماره ۱- پارامترهای الاستیک و پلاستیک خاک

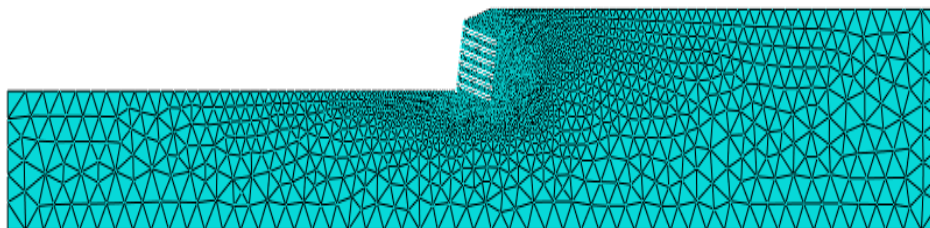
ضریب پواسون	زاویه اتساع (درجه)	چگالی Kg/m^3	مدول الاستیسیته (N/m^2)	زاویه اصطکاک (درجه)	چسبندگی (N/m^2)
۰.۳	۴	۱۸۰۰	۷۰×۱۰^۶	۳۴	۲۰×۱۰^۳

جدول شماره ۲- مشخصات میلگرد و پوشش محافظ

مشخصات	چگالی Kg/m^3	مدول الاستیسیته (N/m^2)	ضریب پواسون
میله گرد	7850	2.1×10^{11}	0.25
پوشش محافظ	2400	2.5×10^{10}	0.25

برای مدلسازی اندرکنش از المان واسط استفاده شده است. خصوصیات این المان مانند خاک بوده و با این تفاوت که درصد مقاومت این المان ۰.۶۷ مقاومت خاک پایه می باشد.

شکل ۱، چگونگی شبکه بندی مدل مبنا و آرایش میخها در شیب خاکی را نشان میدهد. عرض مدل ۱۰ برابر عرض سازه مدل سازی شده در نظر گرفته شده است.



شکل ۱- شبکه بندی مدل مبنا و آرایش میخها در شیب

۳. شرایط مرزی و میرایی

در مدل‌ها عددی معمولاً فضای محدودی از مدل تقسیم بندی شده و شرایط خاصی در مرزهای مصنوعی اعمال می‌شوند. در مسائل دینامیکی این شرایط مرزی موجب انعکاس امواج منتشر شده به سمت داخل مدل می‌شود و از پراکندگی نامنظم انرژی جلوگیری می‌کند. به لحاظ پایدار ماندن فیزیکی مدل، بایستی جلوی حرکت صلب مدل، با وجود آوردن شرایط تکیه گاهی منطبق با واقعیت مسئله، گرفته شود. یک مدل بزرگتر می‌تواند تا حدودی این مشکل را رفع کند چرا که بیشتر انرژی منعکس شده توسط مرزهای ثابت توسط میرایی مادی، جذب می‌شود. معمولاً در بیشتر مسائل معمول مکانیک خاک، حداقل عرض مدل ۱۰ برابر عرض سازه مدل سازی شده در نظر گرفته می‌شود که در این مدل این کار صورت گرفته است [۶،۷].

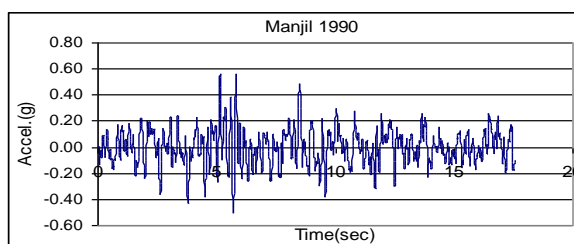
میرایی مصالح به دلیل اصطکاک داخلی مصالح و نیز لغزش و افت انرژی بین سطوح مرزی و فصل مشترکها می‌باشد. در هر مسئله با توجه به نوع مصالح باید میرایی مناسب انتخاب کرد. در این مطالعه نیز برای مدل سازی دینامیکی میرایی ۵ درصد که در بسیاری از مسائل مربوط به خاک لحاظ می‌شود در نظر گرفته شد.

۴. بار دینامیکی

برای بارگذاری زلزله از شتاب نگاشت منجیل مطابق با شکل ۲ استفاده شده است.

جدول شماره ۳- مشخصات شتابنگاشتهای منجیل و بم

Records	Station	Frequency Content (Hz)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
Manjil 1990	Abbar	0.1-20	0.56	59.1	25.9



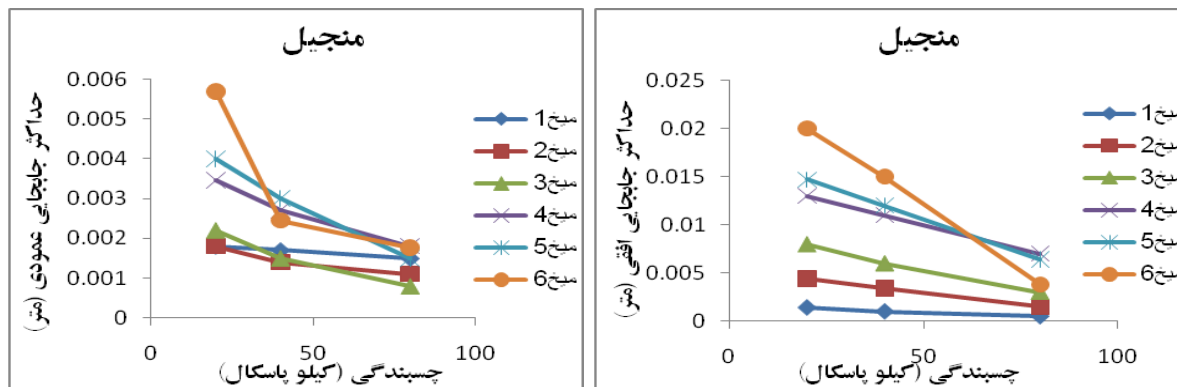
شکل ۲- شتاب نگاشتهای زلزله اعمال شده به مدل

۵. نتایج تحلیل های اجزاء محدود

در این بخش به بررسی پاسخ دینامیکی شیب با مورد توجه قرار دادن مقادیر حداکثر جابجایی افقی و قائم بین میخ و خاک در زلزله های منجیل، پرداخته شده است و نتایج به صورت گراف ارائه گردیده است.

۵-۱- اثر چسبندگی

شکل ۳ نتایج حاصل از بررسی اثر چسبندگی خاک را بر پاسخ دینامیکی شیب خاکی نشان میدهد.

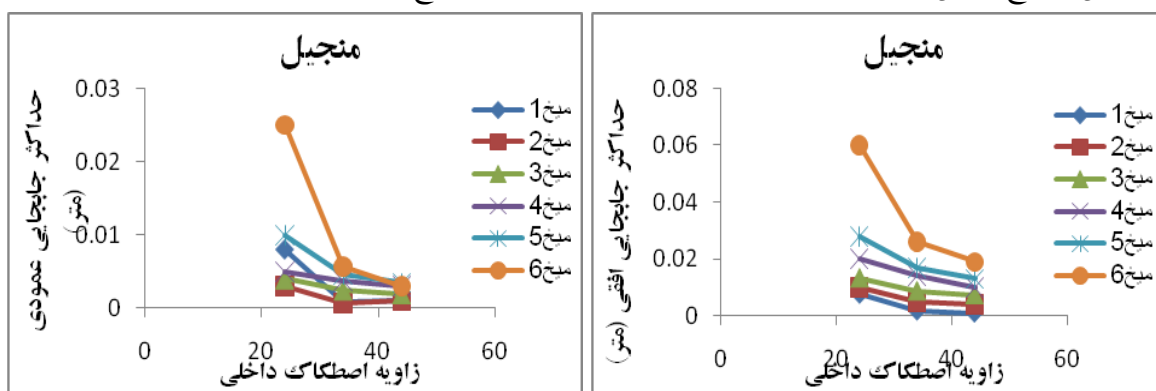


شکل ۳- ماکسیمم جابجایی افقی و عمودی بین میخ و خاک بر اثر تغییرات چسبندگی در زلزله منجیل

مقادیر حداکثر جابجایی افقی و عمودی بین میخ و خاک، هنگامی که از چسبندگی های ۲۰، ۴۰ و ۸۰ استفاده شده است. مشاهده می شود که با افزایش چسبندگی خاک، حداکثر جابجایی افقی کاهش و همچنین با افزایش چسبندگی خاک، حداکثر جابجایی عمودی کاهش پیدا کرده است.

۵-۲- اثر زاویه اصطکاک داخلی

شکل ۴ نتایج حاصل از بررسی اثر زاویه اصطکاک داخلی خاک را بر پاسخ دینامیکی شیب خاکی نشان میدهد.

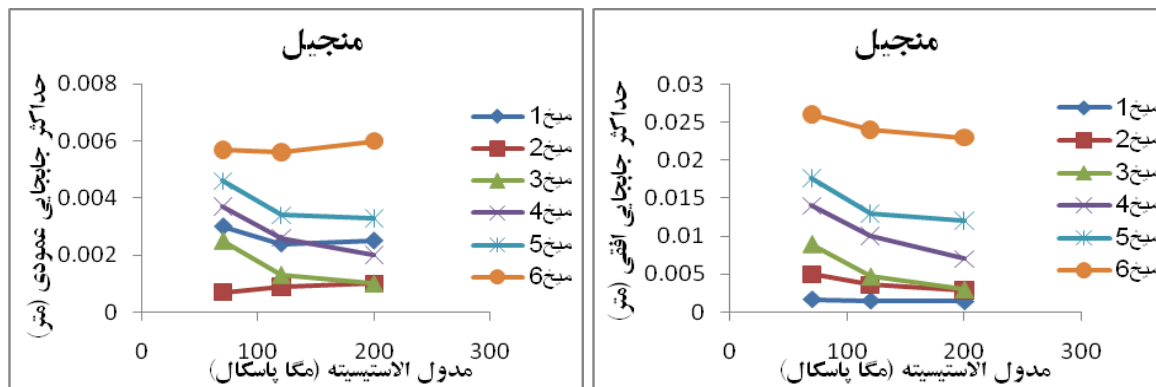


شکل ۴- ماکسیمم جابجایی افقی و عمودی بین میخ و خاک بر اثر تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در زلزله منجیل و بی

مقادیر حداکثر جابجایی افقی و عمودی بین میخ و خاک، هنگامی که از زاویه اصطکاک های ۲۴، ۳۴ و ۴۴ استفاده شده است. مشاهده می شود که با افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک، حداکثر جابجایی افقی کاهش و همچنین با افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک، حداکثر جابجایی عمودی کاهش پیدا کرده است.

۵-۳- اثر مدول الاستیسیته

شکل ۵ نتایج حاصل از بررسی اثر زاویه اصطکاک داخلی خاک را بر پاسخ دینامیکی شیب خاکی نشان میدهد.

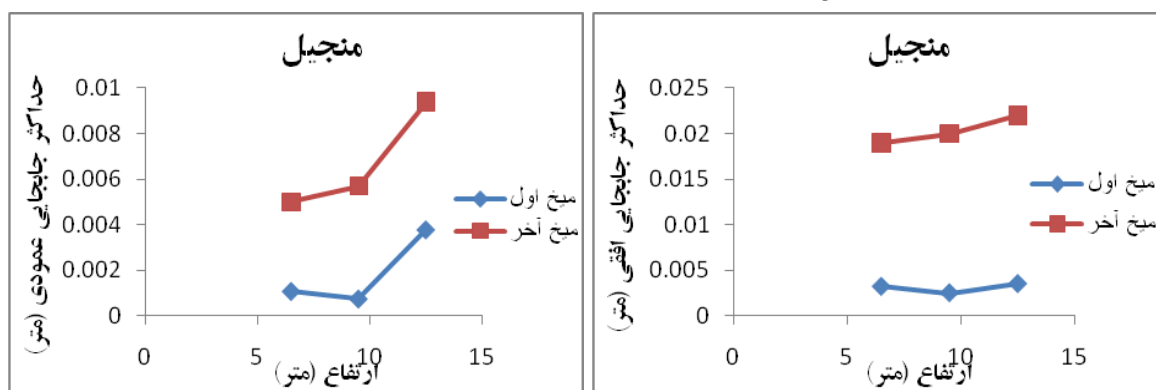


شکل ۴-۳۱- ماکسیمم جابجایی افقی و عمودی بین میخ و خاک بر اثر تغییرات مدول الاستیسیته در زلزله منجیل

مقادیر حداکثر جابجایی افقی و عمودی بین میخ و خاک، هنگامی که از مدول الاستیسیته های ۷۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ استفاده شده است. مشاهده می شود که با افزایش مدول الاستیسیته خاک، حداکثر جابجایی افقی کاهش و همچنین با افزایش مدول الاستیسیته خاک، حداکثر جابجایی عمودی کاهش پیدا کرده است.

۵-۴- اثر ارتفاع شیب

سه مدل به ترتیب با ارتفاع شیب ۶.۵، ۹.۵ و ۱۲.۵ متر در این مرحله مدل سازی شدند و سایر مشخصات ثابت باقی مانده است. به دلیل افزایش طول شیب لبا افزایش ارتفاع، تعداد میلگرد ها نیز افزایش یافته است. مقادیر جابجایی با افزایش ارتفاع شیب، زیاد می شوند که در شکل ۶ نشان داده شده است.

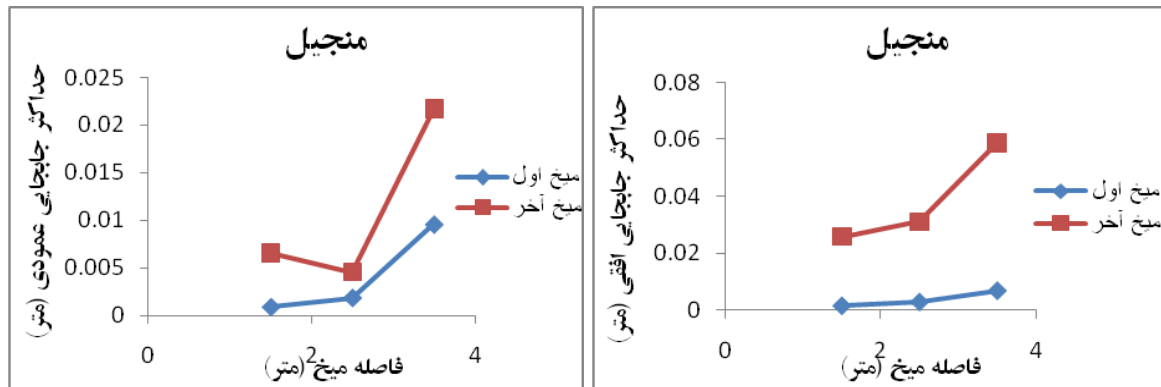


شکل ۴-۳۳- ماکسیمم جابجایی افقی و عمودی بین میخ و خاک بر اثر تغییرات ارتفاع در زلزله منجیل

مقادیر حداکثر جابجایی افقی و عمودی بین میخ و خاک، هنگامی که از ارتفاع شیب ۶.۵، ۹.۵ و ۱۲.۵ استفاده شده است. مشاهده می شود که با افزایش ارتفاع شیب، حداکثر جابجایی افقی افزایش و همچنین با افزایش ارتفاع شیب، حداکثر جابجایی عمودی افزایش پیدا کرده است.

۵-۵- اثر فاصله بین میخها

شکل شماره ۷، اثر تغییر فاصله بین مسلح کننده ها را بر پاسخ دینامیکی شیب نشان میدهد. در این مورد سه مدل با فواصل میلگرد ۱.۵، ۲.۵ و ۳.۵ متر مورد تحلیل قرار گرفته اند.



شکل ۴-۳۵ - ماکسیمم جابجایی افقی و عمودی بین میخ و خاک بر اثر تغییرات فاصله میخ در زلزله منجیل

مقادیر حداکثر جابجایی افقی و عمودی بین میخ و خاک، هنگامی که از فاصله میخها ۱.۵، ۲.۵ و ۳.۵ استفاده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش فاصله میخها، حداکثر جابجایی افقی افزایش و همچنین با افزایش فاصله میخها، حداکثر جابجایی عمودی افزایش پیدا کرده است.

۶. نتیجه گیری

به کمک نتایج تحلیل دینامیکی مشاهده گردید که با بهبود پارامترهای مقاومتی خاک، خاک سهم بیشتری از نیروهای محرک را تحمل می‌نماید، لذا افزایش پارامترهای مقاومتی خاک، باعث کاهش جابجایی افقی خاک می‌گردد. با افزایش چسبندگی خاک، جابجایی افقی و قائم بین میخ و خاک در زلزله منجیل کاهش داشته است. جابجایی بین میخ و خاک از میخ اول تا ششم به ترتیب بیشتر شده است. با افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک، جابجایی افقی و قائم بین میخ و خاک در زلزله منجیل کاهش داشته و این کاهش در زلزله منجیل بین زاویه اصطکاک ۲۴ تا ۳۴ بیشتر رخ داده است. با افزایش مدول الاستیسیته خاک، جابجایی افقی و قائم بین میخ و خاک در زلزله منجیل کاهش داشته و این جابجایی بیشتر در مدول الاستیسیته ۷۰ تا ۱۲۰ مگاپاسکال رخ داده و در بین ۱۲۰ تا ۲۰۰ مگاپاسکال کمتر جابجایی رخ داده است. جابجایی بین میخ و خاک از میخ اول تا ششم به ترتیب بیشتر شده است. با افزایش ارتفاع، در میخ بالای و پایین شیب، جابجایی افقی و عمودی در زلزله منجیل افزایش یافته است. چون وجود میخ‌های کمتر مقاومت برشی را کاهش می‌دهد در نتیجه نیروی مقاوم کمتر و گسیختگی بیشتر می‌شود. و بین ارتفاع ۹.۵ تا ۱۲.۵ این جابجایی‌ها بیشتر شده است. با افزایش فاصله بین میخ‌ها در زلزله منجیل، جابجایی افقی و قائم بین میخ و خاک افزایش یافته و این افزایش جابجایی در فاصله ۲.۵ تا ۳.۵ بیشتر است. بنابراین فاصله معقول میخ برای این شیب‌ها بین ۱.۵ تا ۲.۵ می‌باشد تا سازه در اثر نیروهای وارده از طرف زلزله کمی تغییر شکل دائمی داشته باشد.



مراجع

1. FHWA (1998) "Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls," by Byrne, R.J.Cotton, D., Porterfield, J., Wolschlag, C., and Ueblacker, G. Report FHWA-SA-96-69R, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
2. Wan-Huan Zhou, Jian-Hua Yin. " A simple mathematical model for soil nail and soil interaction analysis". Contents lists available at ScienceDirect Computers and Geotechnics 35 (2008) 479–488.
۳. G.L. Sivakumar Babu and Vikas Pratap Singh. "NUMERICAL ANALYSIS OF PERFORMANCE OF SOIL NAIL WALLS IN SEISMIC CONDITIONS" . ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 496, Vol. 45, No. 1-2, March-June 2008, pp. 31–40
4. Pirooz barar, S.E Times-history Finite Element Dynamic Analysis-Soil Nail Wall-San Manuel Casino-Higland, California 2010.
۵. بهنیا، ک؛ گنمیری، ب؛ آسوده، ع؛ بررسی شیب های میخ کوبی شده تحت اثر زلزله
6. ABAQUS. (2005). Hibbitt, karlsson and Sorensen., Inc., Version 6.5.
7. Maheshwari, B.K., Truman, K.Z., Naggar, M.H.EI., and Gould, P.L. (2005). "Three-Dimensional Nonlinear Seismic Analysis of Single Piles Using Finite Element Model: Effects of Plasticity of Soil." International Journal of Geomechanics, ASCE, Vol. 5, No. 1, 35-44.