



تحلیل لرزه‌ای دیواره گود مسلح شده به روش مهاري به کمک نرم افزار FLAC^{3D}

عطا رادفر^۱، جعفر بلوری بزاز^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه فردوسی مشهد ata.radfar@gmail.com

^۲ استادیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد bolouri@um.ac.ir

چکیده

Different methods such as limit equilibrium and pseudo-static have been widely used for seismic analyses. These methods cannot completely simulate the behavior of site and continuous changes of the acceleration and velocities with time during earthquakes. Therefore, they do not represent the real model. In this study, a seismic analysis of an anchored-wall was performed by applying acceleration history. The behavior of the anchored-wall is simulated during earthquake by records of earthquake obtained by seismic studies on the project sites. The acceleration records were filtered and corrected before applying to the model by using seismosignal software. The main goal was to determine the displacement at different points of the anchored-wall and forces in anchors. For the analyses, finite difference method was employed considering an elastic-plastic formulation in continuum mechanics. The three-dimensional analysis was implemented using FLAC^{3D}. The three-dimensional simulations found to be more reasonable in comparison with the results provided by the two-dimensional analysis. Despite increases in the displacements and forces, the complete collapse did not occur.

واژه‌های کلیدی: Anchored-wall, Excavation, Seismic analysis, Finite difference, FLAC^{3D}

۱- مقدمه

امروزه توسعه روز افزون شهرها و از سوی دیگر کمبود فضای شهری در شهرهای بزرگ سبب گشته تا در بسیاری از پروژه‌ها گودبرداری زمین با جداره‌های قائم یا نزدیک به قائم ضروری گردد. فشار جانبی وارده، ناشی از رانش خاک و نیز سربارهای احتمالی روی خاک مجاور گود می‌باشد. این سربارها می‌توانند شامل اثر وزن خاک بالاتر از تراز فوقانی گود، ساختمان‌های مجاور، بارهای ناشی از بهره برداری از معابر مجاور و نیز بارهای دینامیکی حاصل از زلزله باشند. به منظور پایدارسازی گود و جلوگیری از ریزش ترانشه و تبعات احتمالی ناشی از آن، سازه نگهبان مناسب با کاربری موقت یا دائم عموماً طراحی می‌گردد. یکی از روش‌های پایدارسازی جداره‌های گودبرداری روش مهاري است که به کمک آن می‌توان گودبرداری‌های عمیق را انجام داد. در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای برای بررسی پایداري ترانشه‌ها تحت اثر بارهای ناشی از زلزله انجام گرفته است.

در بسیاری از زلزله‌ها، گاهی خسارات ناشی از زمین‌لغزه‌ها بیش از خسارات سایر خطرات زلزله در مجموع بوده است. به عنوان مثال زلزله سال ۱۹۲۰ در Haiyuan به بزرگی $M=8.5$ ریشتر در استان Ningxia چین، صدها زمین

لغزه به همراه داشت که متجاوز از یکصد هزار کشته بر جای گذاشت. در زلزله سال ۱۹۶۴ آلاسکا در حدود ۵۶٪ کل خسارات وارده مربوط به زمین‌لغزه‌های ایجاد شده در اثر زلزله برآورد شده بود [Close, McCormick, 1992]. بیش از نصف تلفات جانی در زلزله‌های بزرگ $M > 6.9$ ریشتر در ژاپن بین سالهای ۱۹۶۴ تا ۱۹۸۰ بر اثر زمین‌لغزه‌ها بوده است [Kobayashi, 1981]. توجه به پایداری لرزه‌های شیب‌های خاکی مسلح نیز پس از زلزله Kobe افزایش یافت، زیرا سازه‌های خاکی مسلح عملکرد مناسبی در مقایسه با سازه‌های خاکی غیرمسلح داشتند [Tatsuoka et al, 1986]. در مطالعات انجام گرفته مشاهده شده است که ۷۰ مورد از ۱۱۰ پروژه دیوارهای مهاریه شده تغییر شکل دائمی و یا گسیختگی در هنگام بار لرزه‌ای را متحمل شدند. در نتیجه بایستی در تحلیل لرزه‌ای دیوارهای مهاریه شده تجدید نظر صورت گیرد [Kitajima and Uwabe, 1979].

در واقع رفتار دینامیکی دیوارهای مهاریه شده به اندازه رفتار استاتیکی تحلیل نشده است و تا کنون مدل‌های مطالعاتی آزمایشگاهی و عددی اندکی در این موضوع انجام گرفته است. آزمایش‌هایی بر روی مدل‌های مقیاس کوچک، دارای مهاریه واحد که خاکریز آن ماسه خشک است انجام داده‌اند [Kurata et al, 1965]. مدل آزمایشی دیوارهای سپرکوبی شده در خاک فاقد چسبندگی که در معرض ارتعاش جانبی هستند نیز انجام گرفت. نیروی باقی مانده در مهاریه‌ها و در پایه دیوار تقریباً مقادیر یکسانی تحت بارگذاری خواهند شد، و به دیوار اجازه جابجایی جانبی را می‌دهد ولی همچنان دیوار قائم می‌ماند [Murphy, 1960]. مدل‌هایی جهت مطالعه دیوارهای مهاریه شده بر اساس سه نوع مهاریه در آزمایشات مدل شد، که به صورت مهاریه گیردار، مهاریه صلب و مهاریه انعطاف پذیر بودند. ممان خمشی در بالای خط گودبرداری شده با افزایش در دامنه ارتعاش ورودی افزایش می‌یابد [Kitajima and Uwabe, 1979]. رفتار دینامیکی دیوارهای مهاریه شده به کمک برنامه‌های اجزاء محدودی مانند FLUSH و SOIL-STRUCT مدل شده است [Fragaszy, 1987].

جهت بررسی رفتار دینامیکی دیوار نگهدارنده شکل‌پذیر با یک مهاریه تحت بار لرزه‌ای از مدل اجزاء محدود استفاده شده است. بار دینامیکی شامل موج سینوسی بوده و در پایه مدل به آن اعمال می‌شود و منجر به موج برشی قائم منتشر شونده می‌شود [Siller et al, 1991]. برای تحلیل پاسخ لرزه‌ای دیوار مهاریه شده می‌توان از برنامه‌های اجزاء محدود بهره گرفت. هدف فراهم نمودن دیدی مناسب از اثر پارامترهای مختلف بر رفتار دیوار و ارائه پیشنهادهایی جهت طراحی لرزه‌ای بهینه آن می‌باشد. فرآیند مدل‌سازی دارای دو فاز مجزا است، ابتدا ساخت مدل و سپس اعمال بارگذاری دینامیکی. در حین فرآیند ساخت بارگذاری ثقلی و بارهای ناشی از حفاری و نصب مهاریه‌ها اعمال خواهد شد. بار دینامیکی ورودی به مدل موج سینوسی با پریود زمانی T ، طول موج λ و دامنه u_0 است که شتاب \ddot{u}_0 را ایجاد خواهد کرد [Siller and Frawley, 1991].

در این تحقیق سعی شده است تا عملکرد لرزه‌ای دیوارگود مسلح شده با مهاریه در گودبرداری‌ها، تحت نیروی زلزله به کمک نرم افزار $FLAC^{3D}$ مورد بررسی قرار گیرد. این نرم افزار به روش تفاضلات محدود به حل معادلات حرکت و سازگاری در شرایط استاتیکی و یا دینامیکی با استفاده از مدل‌های رفتاری الاستو-پلاستیک برای محیط‌های پیوسته می‌پردازد. به این منظور عملکرد سازه‌های گودبرداری‌های عمیق که به روش مهاریه مسلح شده تحت نیروی زلزله با کمک نرم افزار $FLAC^{3D}$ به صورت سه‌بعدی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- معرفی پروژه

پروژه مورد مطالعه جهت تحلیل "پروژه بهار" که در مشهد قرار گرفته انتخاب شده است. گود مورد مطالعه، به عمق نهایی ۲۲ متر از تراز خیابان و طول ناحیه گود برداری شده ۶۰ متر و عرض آن ۲۸ متر می‌باشد. با توجه به مشخصات ساختمان‌های مجاور و مقادیر سربارهای مختلف ناشی از آنها، تاثیر سربار در جابجایی دیواره گود و مرحله‌ای که در آن ریزش رخ می‌دهد با توجه به مقادیر مختلف سربار مورد بررسی قرار گرفته است. شکل شماره ۱ نمایی کلی از پروژه را ارائه می‌دهد.



شکل ۱- پروژه بهار

۱-۲- مراحل اجرایی گودبرداری

مدل کردن گود برداری با توجه به پیشرفت پروژه و در مراحل مختلف اجرایی انجام شده است. مراحل مختلف گود برداری و کد ارتفاعی هر مرحله از تراز خیابان مطابق جدول ۱ است. لازم به یادآوری است هتل واقع در ضلع غربی پروژه دارای سرباری برابر ۴۰ کیلوپاسکال (kPa) بوده که در ابعاد ۳۰×۲۵ متر مربع اعمال می‌شود.

جدول ۱- مراحل مختلف گودبرداری و کد ارتفاعی هر مرحله

مراحل گودبرداری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
مقدار حفاری (m)	۱/۵	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۲/۵
کد ارتفاعی (m)	۱/۵	۴/۵	۷/۵	۱۰/۵	۱۳/۵	۱۶/۵	۱۹/۵	۲۲

۲-۲- مشخصات اجرایی سیستم پایدارسازی دیواره گود

۱-۲-۲- مشخصات اجرایی شمع‌ها

قبل از آغاز عملیات اجرایی ابتدا محل مورد نظر جهت اجرایی شمع‌ها حفاری شده و سپس پروفیل‌های فولادی طراحی شده (در شمع‌های فولادی) در این محل‌ها قرار داده شوند. بعد از این مرحله گمانه‌های حفاری شده برای اجرای شمع‌ها با بتن پر می‌شوند. قطر چاه جهت اجرای شمع‌ها برابر ۹۰ cm و ارتفاع شمع‌ها از تراز سطح زمین برابر ۲۶.۵ متر می‌باشد. در نتیجه شمع‌ها ۴.۵ متر زیر تراز گود نیز ادامه خواهند یافت. پروفیل شمع‌ها از 2 IPE 400 بوده و فاصله شمع‌ها از یکدیگر ۳ متر می‌باشند.

۲-۲-۲- مشخصات اجرایی مهارها

مهارها در ۷ ردیف نصب می‌شوند که مشخصات آنها در جدول ۲ آورده شده است. سایر مشخصات برای تمامی مهارها یکسان بوده به گونه‌ای که زاویه مهارها با افق ۱۰ درجه، نیروی پیش کشیدگی مهارها ۷۵ تن و فاصله افقی و قائم مهارها از یکدیگر برابر ۳ متر می‌باشد. در ضمن طول گیرداری کلیه مهارها ۸ متر می‌باشد.

جدول ۲ مشخصات اجرایی مهارها

طول کلی مهار (m)	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۳
طول آزاد مهار (m)	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۵

۳-۲- پارامترهای ژئوتکنیکی خاک محل

با توجه به پردازش اطلاعات حاصل از گمانه‌های شناسایی ژئوتکنیکی که توسط مهندسان مشاور ارائه شده، پارامترهای ژئوتکنیکی خاک محل به شرح جدول ۳ در نظر گرفته شده است.

جدول ۳ مشخصات عمومی خاک

شماره لایه	ضخامت (m)	کد ارتفاعی (m)	وزن مخصوص γ (kN/m ³)	چسبندگی c (kN/m ²)	زاویه اصطکاک ϕ	نسبت پواسون
۱	۵	۰ - ۵	۱۷	۱۰	۲۵	۰/۳
۲	۱۵	۵ - ۲۰	۱۹	۳۰	۳۳	۰/۳
۳	۲۰	۲۰ - ۴۰	۱۸	۵۰	۳۰	۰/۳

۲-۳-۱ خصوصیات دینامیکی مصالح

خواص میرایی و سختی مصالح خاکریز مورد استفاده در تحلیل دینامیکی تفاضل محدود در جدول ۴ آورده شده و در ادامه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سایر مشخصات خصوصی تر خاک با توجه مدل رفتاری خاک در نظر گرفته شده و به کمک روابط ارائه شده به قرار جدول ۴ ارائه می‌گردد.

جدول ۴ مشخصات خصوصی خاک

شماره لایه	ضریب ارتجاعی (MPa) E	ضریب برشی (MPa) G	ضریب حجمی (MPa) K	زاویه اتساع ψ	حد کششی ν
۱	۵۰	۱۹	۳۵	۲	۰/۰۱
۲	۹۰	۳۴	۶۴	۳	۰/۰۳
۳	۱۲۰	۴۶	۸۵	۷	۰/۰۵

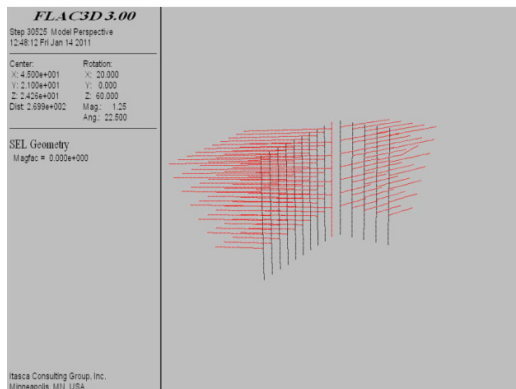
۳-۲ فرآیند مدل‌سازی در نرم افزار FLAC^{3D}

۳-۱-۱ مدل هندسی: با توجه به تقارن محدوده گودبرداری تنها ربع ناحیه گودبرداری مدل شده است. این کار باعث افزایش سرعت تحلیل می‌گردد. مرزهای مدل باید از سطح گودبرداری شده و ناحیه‌ای که تحت تأثیر تنش قرار گرفته به میزان کافی دور باشد. ولی در صورتی که فاصله نیز بیش از حد باشد سبب طولانی شدن زمان تحلیل خواهد شد. مرزهای مدل در امتداد محورهای افقی در فاصله‌ای به میزان ۲ برابر از ناحیه گودبرداری شده تعریف می‌شود. در امتداد محور قائم نیز مرز مدل در حدود ۱/۲ برابر از عمق ناحیه گودبرداری تعریف می‌شود. لذا ابعاد ناحیه گود برداری شده در امتداد X برابر ۳۰ و در امتداد Y برابر ۱۴ متر است. ارتفاع ناحیه گودبرداری شده نیز تا جایی که ریزش رخ ندهد مطابق جدول ۱ انجام می‌گردد. مدل ساده شده خاکریز و شبکه بندی تفاضل محدود (FDM) مورد استفاده در تحلیل در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. بر اساس خواص الاستیک مورد استفاده برای مصالح، سرعت‌های موج برشی و حجمی برای مصالح به ترتیب برابر $C_p=753$ m/sec و $C_s=413$ m/sec می‌باشند.

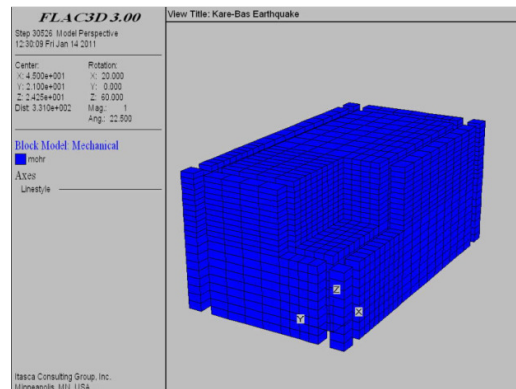
به‌منظور اطمینان از دقت کافی در انتقال امواج، در طول تحلیل دینامیکی، اندازه عنصرها به اندازه‌ای کوچک انتخاب شده‌اند تا معیار ارائه شده توسط Lysmer & Kuhlemeyer که به صورت رابطه ۱ قابل بیان است ارضاء شود:

$$\Delta t = \frac{\lambda}{10} \quad 1$$

در فرمول فوق λ طول موج مرتبط با بیشترین مؤلفه فرکانس و شامل انرژی قابل توجه بوده و L طول عنصر می‌باشد. تحلیل بر اساس مراحل گودبرداری در ۸ مرحله متوالی شامل اجرای شمع‌ها، انجام عملیات گودبرداری و در نهایت نصب مهارها در بدنه دیواره گود صورت پذیرفت. پس از نصب و اجرای مهارها، نیروی پیش‌تنیدگی به مهارها اعمال گشته و سپس عملیات گودبرداری در مرحله بعد اجرا خواهد شد. فرآیند فوق تا اتمام کامل گودبرداری و اجرای کامل المان‌های پایدار کننده ادامه پیدا خواهد کرد.



شکل ۳- المان‌های ساختاری مدل



شکل ۲- هندسه مدل

مراحل مختلف گودبرداری با توجه به جدول شماره ۱ اجرا خواهد شد به این صورت که پس از هر مرحله، مهاریها با توجه به مشخصات موجود در جدول شماره ۲ مدل شده است. شکل شماره ۳ المانهای ساختاری مدل شده جهت پایداری گودبرداری، شامل مهاریهای نصب شده در دیواره گود و شمعهای اجرا شده در مجاورت ناحیه گودبرداری شده را نشان خواهد داد. همچنین با توجه به مشخصات خاک منطقه مدل رفتاری Mohr-Coulomb برای مصالح استفاده شده است.

۳-۲- تحلیل لرزه‌ای

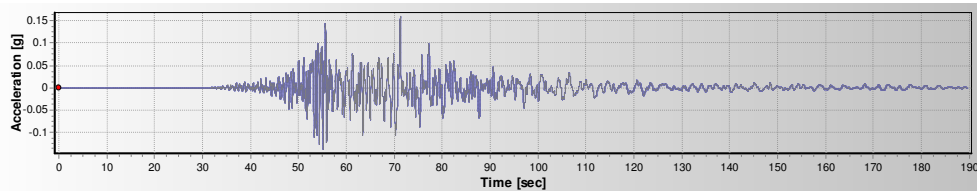
شتابنگاشت‌های اصلاح شده بعد از اتمام تصحیح فرکانس ورودی بر اساس روابط موجود در راهنمای نرم‌افزار تبدیل به تاریخچه تنش برشی گردیده و به پایه مدل عددی وارد می‌گردد. این مطلب به منظور امکان اعمال همزمان حرکت پایه در یک مرز و اعمال شرایط میرایی مرز خاموش (Quiet Boundary) صورت می‌گیرد. در اشکال فوق، وجود مرز خاموش در اطراف مدل به وضوح قابل رویت است که سبب جلوگیری از انعکاس غیرواقعی امواج لرزه‌ای و بازگشت مجدد امواج به مدل خواهد داشت. از دو مؤلفه افقی تاریخچه شتاب-زمان، از شدیدترین مؤلفه برای مدل‌سازی استفاده شده است. جهت کاربردهای مهندسی فرض می‌شود که شتاب ماکزیمم قائم PVA دو سوم شتاب ماکزیمم افقی PHA می‌باشد. از میان شتاب نگاشت‌های برای دوره‌های بازگشت مختلف، دوره بازگشت ۲۰۰ سال و شتاب‌نگاشت مربوط به زلزله جدیدتر انتخاب شده است. این شتاب‌نگاشت‌ها را از طریق سایت مرکز تحقیقات لرزه‌ای می‌توان دریافت کرد.

جدول ۵- شتاب نگاشت‌های به مقیاس درآمده برای دوره بازگشت ۲۰۰ سال

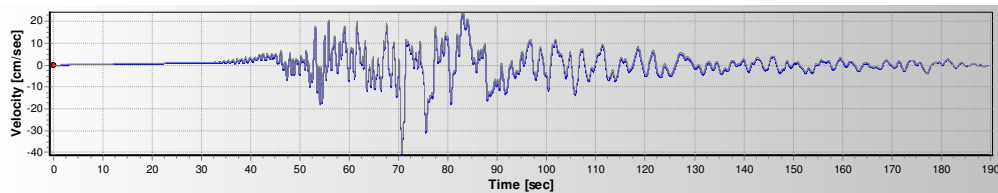
نام زمین‌لرزه	تاریخ رویداد	ایستگاه ثبت کننده	فاصله ایستگاه تا نقطه زمین‌لرزه (km)	بزرگای M
اسفراین - ایران	10 April 1987	اسفراین	۲۴	۶/۰
اسالم - ایران	4 November 1987	هشتپر	۸	۵/۰
کره‌بس - ایران	6 May 1999	خان زینو	۳۱	۶/۳

۳-۲-۱ تصحیح خط مبنا

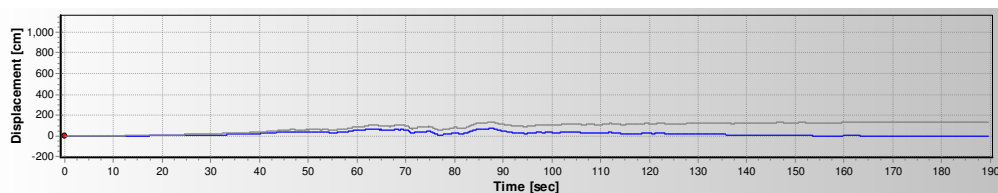
همان‌طور که می‌دانیم برای محاسبه سرعت و تغییر مکان باید از رکوردها انتگرال گرفت و برای این منظور لازم است اعوجاج خط پایه کنترل گردد. به منظور کاهش زمان محاسبه سایر پردازش‌ها، (عملیات فیلتر) بهتر است ابتدا کلیه انحرافات خطی شاخص از رکورد حذف گردد. نمودارهای شتاب نگاشت، سرعت-زمان و جابجایی-زمان پس از اعمال تصحیح خط مبنا با استفاده از نرم‌افزار Seismosignal به ترتیب در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است.



شکل ۴ شتاب نگاشت بعد از تصحیح خط مبنا



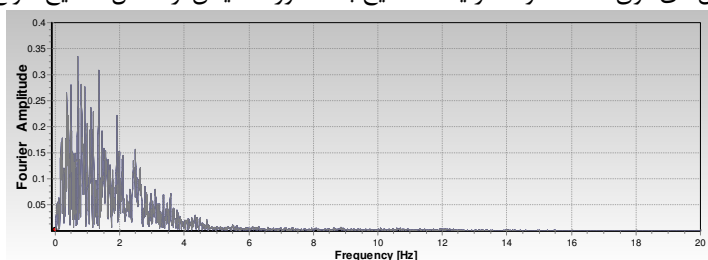
شکل ۵ نمودار سرعت - زمان زلزله کره بس - ایستگاه خان زینو بعد از تصحیح خط مبنا



شکل ۶ نمودار جابجایی - زمان زلزله کره بس - ایستگاه خان زینو بعد از تصحیح خط مبنا

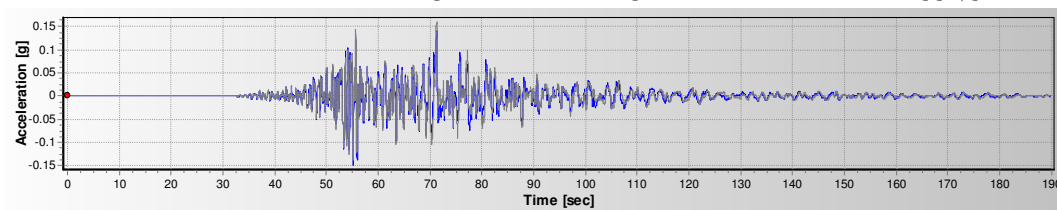
۳-۲-۲ فیلتر کردن داده‌های زلزله

از مهمترین خطاهای وارد شده در شتاب‌نگاشت‌ها، خطاهای فرکانس بالا و پریود بلند هستند که جهت حذف آنها لازم است شتاب‌نگاشت‌ها در یک باند فرکانسی معین از فیلترهای خاص عبور داده شوند. این باند فرکانسی مسلماً متناسب با هر رکورد و حتی متناسب با هر مؤلفه رکورد بر اساس نسبت سیگنال به نوفه تغییر پیدا می‌کند. باند فرکانسی زلزله کره-بس که در شکل ۷ نشان داده شده بیانگر این نکته است که عمده انرژی در شتاب‌نگاشت فوق، در فرکانس‌هایی کمتر از ۱۰ هرتز برای این زلزله منتقل می‌شوند. لذا امواج لرزه‌ای بایستی تصحیح شوند تا فرکانس‌های بزرگتر از مقادیر فرکانس‌های فوق حذف شوند. فرآیند تصحیح به منظور اطمینان از انتقال صحیح امواج صورت گرفت.

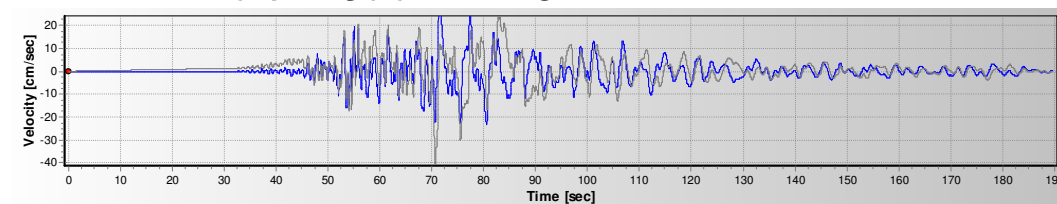


شکل ۷ نمودار دامنه فوریه- فرکانس زلزله کره بس- ایستگاه خان زینو

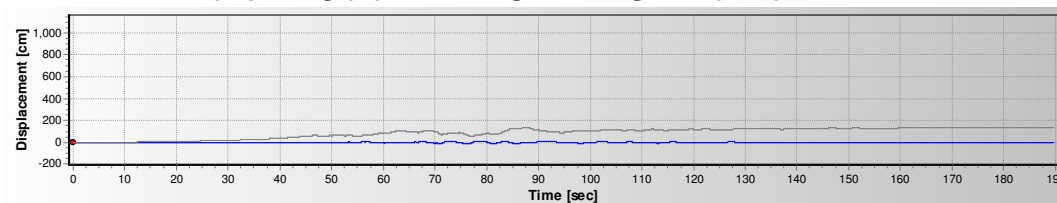
اکنون نمودار شتاب نگاشت پس از تصحیح خط مبنا و فیلتر کردن داده‌های زلزله (فرکانس ۱۰ هرتز) که در تحلیل‌ها به کمک نرم‌افزار FLAC^{3D} استفاده شده است در ادامه آمده است (شکل‌های ۸ تا ۱۰).



شکل ۸ شتاب نگاشت بعد از تصحیح خط مبنا و فیلتر کردن داده‌های زلزله



شکل ۹ نمودار سرعت-زمان بعد از تصحیح خط مبنا و فیلتر کردن داده‌های زلزله



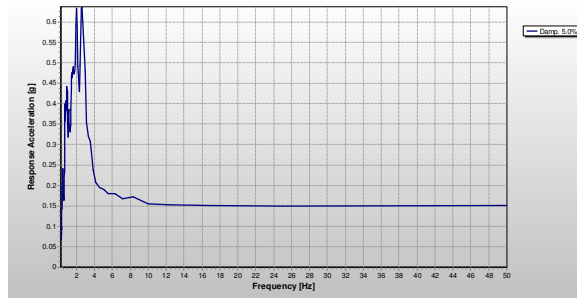
شکل ۱۰ نمودار جابجایی-زمان بعد از تصحیح خط مبنا و فیلتر کردن داده‌های زلزله

۳-۲-۳ تحلیل پاسخ شتاب در حوزه فرکانس

شکل ۱۱ که پاسخ شتاب در برابر فرکانس را با فرض میرایی ۵٪ نشان می‌دهد بیانگر وجود بیشینه پاسخ شتاب در فرکانس‌های کمتر از ۵ هرتز است. مهمترین پارامترهای مشخصات حرکت زمین در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶ پارامترهای مشخصات حرکت زمین

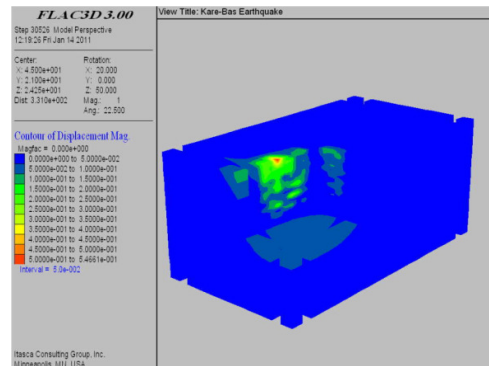
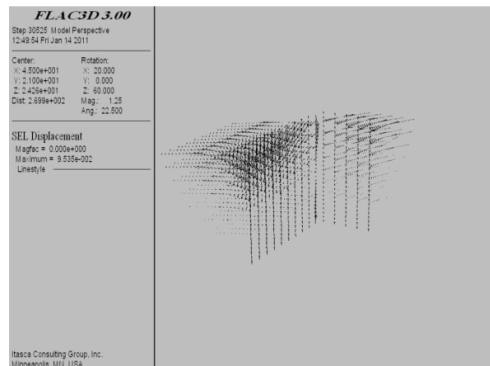
Maximum Acceleration (PGA) (at time t=71.250sec)	Maximum Velocity (PGV) (at time t=70.661sec)	Maximum Displacement (PGD) (at time t=87.666sec)
0.160g	41.241cm/sec	75.391cm



شکل ۱۱ نمودار پاسخ شتاب- فرکانس

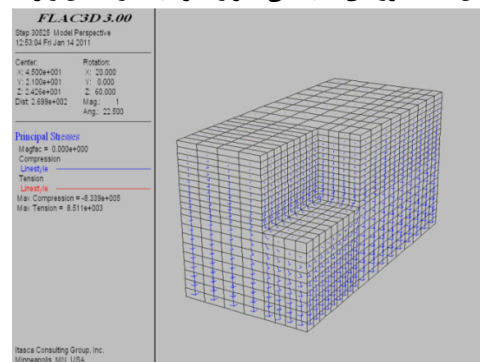
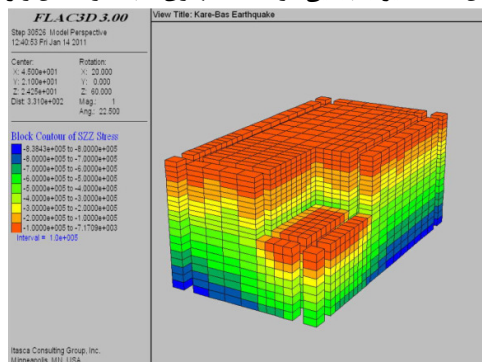
۴- بررسی نتایج

تحلیل نتایج به روش‌های تحلیلی، شبه‌استاتیکی و تعادل حدی معرف نتایج مختلف بوده و توانایی مدل کردن و در نظر گرفتن مراحل ساخت مرحله‌ای را ندارند. همچنین در این روش‌ها، امکان یافتن مقادیر جابجایی پس از زلزله و مکانیزم گسیختگی که جهت نمایش رفتار عملکردی در شرایط لرزش قابل پیش‌بینی نیست وجود ندارد. بنابراین، در این تحقیق، تحلیل کامل دینامیکی به‌عنوان روشی نسبتاً دقیق جهت پیش‌بینی پاسخ رفتار لرزه‌ای در هر لحظه از زمان زلزله مورد استفاده قرار گرفته شده است.



شکل ۱۳ مقادیر جابجایی در امتداد مهارها بعد از اعمال زلزله

شکل ۱۲ کنتورهای جابجایی دیواره گود بعد از اعمال زلزله



شکل ۱۵ مقادیر تنش قائم

شکل ۱۴ کنتور مقادیر تنش اصلی

نتایج تحلیل استاتیکی دیوار مهارشده نشانگر مقدار جابجایی ۷/۵۶ سانتی‌متر است. جابجایی بیشینه، در وسط طول بزرگتر ناحیه گودبرداری شده و نزدیک به سطح اتفاق می‌افتد. شکل شماره ۱۲ نتایج کنتور تغییر مکان تحلیل لرزه‌ای را نشان می‌دهد که حداکثر تغییر مکان در بدنه دیواره گود و در امتداد طول بیشتر دیواره اتفاق خواهد افتاد. مقدار جابجایی ماکزیمم دیواره نیز برابر ۵۴/۶۶ سانتی‌متر خواهد بود. نکته قابل توجه ناحیه مربوط به مقدار جابجایی بیشینه در تحلیل لرزه‌ای است که بر خلاف حالت استاتیکی به گوشه ناحیه گودبرداری شده نزدیک‌تر شده است. مقادیر جابجایی در امتداد مهارها نیز در شکل شماره ۱۳ نشان داده شده است، همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقدار جابجایی بیشینه در امتداد مهارها ۹/۵۳ سانتی‌متر است که غالب آن در ناحیه طول غیرتماسی (Free Length) رخ

می‌دهد. مقادیر کنتور تنش‌های اصلی در لایه‌های خاک پس از زلزله، در شکل ۱۴ نشان داده شده است، همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیشینه تنش فشاری $8/34 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ و بیشینه تنش کششی $8/3514 \times 10^2 \text{ N/m}^2$ می‌باشد. مقادیر تنش‌های فشاری قائم در امتداد محور Z نیز در شکل ۱۵ نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، بیشینه تنش قائم برابر $8/38 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ است، که در اطراف گود و زیر فونداسیون ساختمان‌های مجاور رخ می‌دهد. همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، از مهمترین مزیت‌های تحلیل لرزه‌ای با نرم‌افزار FLAC امکان در نظر گرفتن شرایط ساخت مرحله‌ای است.

جدول ۷ مقادیر پارامترهای مختلف درمهاریه‌ها

مراحل گودبرداری	بیشینه نیروی محوری (kN)	بیشینه تنش محوری در امتداد دوغاب اطراف مهاریه (kN/m ²)	بیشینه تنش محوری (MN/m ²)	بیشینه جابجایی (cm)
۱	۵۴۵	۱۷۴۶	۹۷/۳	۰/۶۲
۲	۹۴۲	۲۴۵۴	۱۴۶/۲	۱/۱۵
۳	۱۱۲۶	۳۵۶۶	۱۸۷/۹	۱/۵
۴	۱۳۱۲	۴۰۵۶	۲۱۲/۱	۲/۱۶
۵	۱۳۷۶	۵۰۳۸	۲۳۹/۱	۴/۶
۶	۱۴۵۲	۶۴۱۳	۲۵۷/۷	۶/۷
۷	۱۵۰۲	۷۳۹۴	۲۷۳/۳	۸/۹
۸	۱۵۳۴	۸۲۴۵	۲۷۶/۹	۹/۵۳

بررسی و تحلیل نتایج مبین آن است که عملکرد دیواره گود مسلح شده با مهاریه در حین زلزله منجر به ریزش کلی در دیواره گود نمی‌شود، ولی مقدار جابجایی بیشینه رخ داده در دیواره گود، در حین زلزله منجر به نشست ساختمان‌های مجاور گود شده که همین میزان نشست حتی می‌تواند سبب ریزش کامل ساختمان‌های مجاور شود. از دیگر پارامترهای مورد بررسی، تحلیل مقادیر نیروی موجود در مهاریه‌ها است، که نشانگر عملکرد مناسب مهاریه‌ها در تأمین پایداری دیواره گود می‌باشد.

۵- مراجع

- Itasca Consulting Group, Inc. 2006. FLAC^{3D} – Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions, Ver. 3.1 User's Manual. Minneapolis: Itasca.
- Itasca Consulting Group, Inc. 2007. FLAC – Fast Lagrangian Analysis of Continua, Version 6 User's Manual. Minneapolis: Itasca.
- Ma, F.G. and Wang, Z.L. 2008. Implementation and three dimensional example applications of a bounding surface hypo-plasticity model for sand as a C⁺⁺ UDM for FLAC^{3D}. 1st FLAC/DEM Symposium on Numerical Modeling. 25-27 August 2008, Minneapolis, MN, USA.
- Fragaszy R. J., Ali, A., Denby, G. M., and Kilian, A. P. (1987). "Seismic response of tieback walls: A pilot study." *Proc, Annual Meeting Tramp. Res. Board, Transportation Research Board*.
- Siller T., and Frawley D.D.,(1992) " Seismic response of multi anchored retaining walls " *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 118,No. 11.
- Siller T. J., Christiano P., and Bielak J., (1991) "Seismic response of tiedback retaining walls" *Earthquake Eng. and Structure Dynamics*, vol. 20,pp. 605-620.
- Cheney R.S., (1988). "Permanent Ground Anchors" *Report FHWA-DP-68-1R, Federal Highway Administration, Washington, D.C.*
- Cheney R.S., (1990). "DP-68 Permanent Ground Anchors" *Report FHWA-DP-90-068-003, Federal Highway Administration, Washington, D.C.*
- Chopra A.K.,(1966) "Earthquake effects on dams " *Ph.D.dissertation,University of California,Berkeley*.
- Close U., and Mc Cormick E.,(1992) "Where the mountains walked" *National Geographic*,vol. 41,No. 5,pp. 445-464.
- Hynes-Griffin M.E., and Franklin A.G.,(1984) "Rationalizing the seismic coefficient method" *Miscellaneous Paper GL-84-13,U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station,Vicksburg,Mississippi*,pp. 21-28.
- Kitajima S., and Uwabe T. ,(1979) "Analysis of seismic damage in anchored sheetpiling bulkheads" *Report, Port and Harbour Res. Inst*,pp. 68-127.
- Kobayashi y.,(1981), "Cause of fatalities in recent earthquakes in Japan" *Journal of Disaster Science*, vol. 3,pp. 15-22.