بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی

گروه عمران

پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- گرایش خاک و پی

دانشکدهٔ مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

تحلیل لرزه‌ای دیواره گود مسلح شده با مهاری

استاد راهنما: آقای دکتر جعفر بلوری بزاز

استاد مشاور: آقای دکتر فریدون پویا نژاد

نگارش: عطا رادفر

اسفند ۱۳۸۹

پایان نامه حاضر تحت عنوان :

تحلیل لرزه‌ای دیواره گود مسلح شده با مهاری که توسط **عطا رادفـر، دانشـجوی کارشناسـی ارشد خاک و پی**، تهیه و به هیأت داوران ارائه گردیده است، مورد تأیید کمیته تحصـیلات تکمیلـی گـروه مهندسـی عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد.

تاریخ دفاع : 89/12/25 نمره : درجه ارزشیابی :

اعضاء هیأت داوران :

نام و نام خانوادگی	هیأت داوران	مرتبه علمی	امضاء
دکتر جعفر بلوری بزاز	استاد راهنما	استادیار	
دکتر فریدون پویا نژاد	استاد مشاور	استادیار	
دکتر حسین صادقی	استاد مدعو	دانشیار	
دکتر حسن حاجی کاظمی	نماینده تحصیلات تکمیلی	استاد	

تأییدیه

گواهی می‌شود که این پایان‌نامه تاکنون برای احراز یک درجه علمی ارائه نشده و تمامی مطالب آن به جز موردهایی که نام منبع آورده شده است، نتیجه کار پژوهشی دانشجو می‌باشد.

امضاء استاد راهنما : دکتر جعفر بلوری بزاز تاریخ :

امضاء دانشجو : عطا رادفر تاریخ :

پایان نامه حاضر تقدیم می گردد به مادر، برادر و خواهر عزیزم به

خاطر یاری ایثارگرانه و بی دریغ، قلم راهنمایم جهت هدایت

شان ها، امانیه ی است که هیچ با هیچ کاری ایشان این مهم

میسر نمی گشت.

تشکر و قدردانی

اینک که به یاری خداوند این پایان‌نامه به فرجام رسیده است، لازم و دلخواه است از زحمات دلسوزانه جناب آقای دکتر مرجع که در پرورش این بذر کوشا، هدایت این جانب را در انتخاب موضوع مورد حال پژوهش عهده‌دار بوده اند و همواره از نکته‌های ارزنده‌شان بهره برده‌ام کمال تشکر را داشته باشم. علاوه بر این مایلم از جناب آقای دکتر رویائی که به عنوان استاد مشاور صمیمانه مرا در انجام هر چه پایان‌نامه یاری نمودند، ابراز سپاسگزاری نمایم. همچنین شایسته است که از مدیر و کلیه شرکت خدمات مهندسی مکانیک خاک که اطلاعات پروژه را در اختیار بنده قرار داده‌اند تشکر نمایم. بدیهی است از مساعدت و همکاری این عزیزان در انجام این پایان نامه ممنون خواهد بود. در نهایت از تمامی دوستان و بزرگوارانی که هر کدام به نحوی مرا در این تحقیق همراهی نمودند قدردانی نموده و توفیق روزافزون ایشان را از درگاه ایزد منان خواستارم.

عطار ادهم

اسفند ۱۳۸۹

چکیده

امروزه توسعه روز افزون شهرها و کمبود فضای شهری در شهرهای بزرگ سبب گشته تا در بسیاری از پروژه‌ها گودبرداری زمین با جداره‌های 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 مهاری است که به کمک آن می‌توان گودبرداری‌های عمیق را انجام داد. در سال-های اخیر مطالعات گسترده‌ای برای بررسی پایداری ترانشه‌ها تحت اثر بارهای ناشی از زلزله انجام گرفته است. در این میان روش تعادل حدی و اعمال نیروی زلزله بصورت شبه‌استاتیکی روشی متداول در مطالعه پایداری لرزه‌ای شیروانی‌های خاکی است. لیکن به دلیل ماهیت متناوب نیروی زلزله و تغییرات پیوسته شتاب و نیرو با زمان، تحلیل شبه‌استاتیکی نمی‌تواند به صورت مناسبی معرف رفتار مدل باشد. رفتار دیوار مهار شده در حین زلزله با اعمال شتاب‌نگاشت زلزله به پایه مدل، مدل سازی شده است. پیش از اعمال شتاب‌نگاشت به مدل، باید علاوه بر تصحیح خط مبنا، عملیات فیلتر کردن داده‌های زلزله را نیز بر روی شتاب‌نگاشت زلزله انجام دهند. هدف اصلی تعیین مقادیر جابجایی نقاط مختلف در دیوار مهار شده و نیز نیروی موجود در مهاری‌ها می‌باشد. تحلیل لرزه‌ای 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. در این تحقیق سعی شده است تا عملکرد لرزه‌ای دیوار گود مسلح شده با مهاری در گودبرداری‌ها، تحت نیروی زلزله به کمک نرم افزار $FLAC^{3D}$ مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان می‌دهد که تحلیل سه بعدی در مقایسه با تحلیل دوبعدی به واقعیت نزدیک-تر است. علی‌رغم افزایش در مقادیر جابجایی دیواره گود و نیروی مهاری‌ها، ریزش کامل در دیوار مهار شده رخ نمی‌دهد. نتایج تحلیل عددی به کمک نرم‌افزار $FLAC^{3D}$ می‌تواند به طور مناسبی جهت تحلیل و پیش‌بینی مسائل مهندسی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: گودبرداری، سازه نگهبان، نیروی مهاری، تفاضل محدود، تحلیل لرزه‌ای، شتاب‌نگاشت، $FLAC^{3D}$

فهرست مطالب **صفحه**

فصل اول- کلیات ۱
۱-۱ مقدمه ۱
۱-۲ سازه نگهبان ۲
۱-۲-۱ سازه تثبیت کننده از بیرون ۳
۱-۲-۲ سازه تثبیت شده از درون ۳
۱-۳ بیان کلی مسأله ۴
۱-۴ مختصری از نتایج به دست آمده ۵
۱-۵ عناوین مندرجات پایان‌نامه ۷
فصل دوم- تحلیل لرزه‌ای دیوار مهار شده ۸
۲-۱ مقدمه ۸
۲-۲ دیوار مهار شده ۸
۲-۳ پیشینه استفاده از سیستم مهارشده ۹
۲-۴ اجزاء تشکیل دهنده مهارها ۱۰
۲-۵ کاربردهای دیوارهای مهار شده ۱۱
۲-۶ فرآیند ساخت ۱۳
۲-۷ پایداری لرزه‌ای شیروانی‌ها ۱۳
۲-۸ تاریخچه خسارات لرزه‌ای شیروانی‌ها ۱۴
۲-۹ تحلیل پایداری لرزه‌ای شیروانی‌ها ۱۵
۲-۹-۱ ناپایداری اینرسی‌دار ۱۵
۲-۹-۱-۱ تحلیل شبه‌استاتیکی ۱۶
۲-۹-۱-۲ ارزیابی تغییر مکان‌های دائمی ۱۹
۲-۹-۱-۲-۱ تحلیل نیومارک ۱۹
۲-۹-۱-۲-۲ تحلیل Makdisi-Seed ۲۱
۲-۹-۱-۲-۳ تحلیل تنش- تغییر شکل ۲۱
۲-۹-۲ ناپایداری سست کننده ۲۲
۲-۹-۲-۱ گسیختگی‌های جریانی ۲۲
۲-۹-۲-۲ گسیختگی تغییر شکلی ۲۴
۲-۱۰ سوابق مطالعات لرزه‌ای دیوار مهارشده ۲۴
۲-۱۱ مدل عددی ۲۷
۲-۱۲ بررسی نتایج ۲۷

۲-۱۲-۱سختی مهاری ۲۷
۲-۱۲-۲ زاویه مهاری ۲۸
۲-۱۲-۳ فاصله مهاری‌ها ۲۹
۲-۱۳خلاصهٔ فصل ۲۹
فصل سوم- روش تحلیل ۳۱
۳-۱ مقدمه ۳۱
۳-۲ روش‌های تحلیل ۳۱
۳-۲-۱ تعادل حدی ۳۱
۳-۲-۲ تعادل حدی به کمک اجزاء محدود ۳۲
۳-۲-۲-۱ روش تعادل حدی خالص ۳۲
۳-۲-۲-۲ روش تعادل حدی مبتنی بر تنش‌های محاسبه شده از روش اجزاء محدود ۳۲
۳-۲-۳ ارزیابی تغییر مکان‌ها به روش اجزاء محدود ۳۳
۳-۲-۴ ارزیابی تغییر مکان‌ها به روش تفاضل محدود ۳۳
۳-۳ روش تحلیل لرزه‌ای ۳۵
۳-۳-۱ روش تحلیل دینامیکی طیفی با استفاده از آنالیز مدها ۳۵
الف) تعداد مدهای نوسان ۳۶
ب) ترکیب اثرات مدها ۳۶
ج) طیف عکس العمل ۳۶
۳-۳-۲ تحلیل سازه‌ها به روش شبه‌دینامیکی یا طیفی ۳۶
۳-۳-۳ روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی ۴۰
۳-۳-۳-۱ تاریخچه زمانی تغییرات شتاب (شتاب‌نگاشت) ۴۰
۳-۳-۳-۲ انتخاب نگاشت‌های لرزه‌ای مناسب ۴۱
۳-۳-۳-۳ انتخاب روش تحلیل دینامیکی ۴۲
۳-۴ خلاصهٔ فصل ۴۳
فصل چهارم- معرفی نرم‌افزارهای مورد استفاده ۴۴
۴-۱ مقدمه ۴۴
۴-۲ تصحیح شتاب‌نگاشت‌ها ۴۵
۴-۲-۱ تصحیح خط مبنا ۴۵
۴-۲-۲ فیلترکردن داده‌های زلزله ۴۷
۴-۲-۳ تصحیح داده‌های زلزله ۴۸
۴-۳ تحلیل غیرخطی پاسخ زمین در حوزه فرکانس با نرم‌افزار NERA ۴۸

۴-۳-۱ مدل خطی معادل ۵۲
۴-۳-۲ تغییرات مدول برشی سکانت و نسبت میرایی با دامنه کرنش برشی ۵۳
۴-۴ تحلیل لرزه‌ای در حوزه زمان ۵۶
۴-۴-۱ شرایط مرزی ۵۶
الف) مرزهای آرام ۵۶
ب) مرزهای محیط آزاد ۵۷
۴-۴-۲ میرایی مکانیکی ۵۸
۴-۴-۳ انتقال امواج در مدل ۵۸
۴-۴-۴ تئوری تحلیل دینامیکی در نرم‌افزار FLAC ۵۹
۴-۴-۵ ویژگی‌های روش غیر خطی کامل ۶۰
۴-۴-۶ روش اعمال بارگذاری دینامیکی ۶۰
۴-۵ خلاصهٔ فصل ۶۲

فصل پنجم- بررسی نتایج تحلیل لرزه‌ای دیواره گود ۶۳

۵-۱ مقدمه ۶۳
۵-۲ کلیات پروژه ۶۳
۵-۲-۱ مشخصات سربار مجاور گود ۶۳
۵-۲-۲ مراحل اجرایی گودبرداری ۶۵
۵-۳ مشخصات اجرایی سیستم پایدارسازی دیواره گود ۶۶
۵-۳-۱ مشخصات اجرایی شمع‌ها ۶۶
۵-۳-۲ مشخصات اجرایی مهاری‌ها ۶۶
۵-۳-۳ پوشش سطحی دیواره گود با شاتکریت ۶۷
۵-۴ انتخاب شتاب‌نگاشت ۶۸
۵-۵ معیار طراحی لرزه‌ای ۶۸
۵-۶ معیارهای انتخاب مؤلفه شتاب‌نگاشت ۶۹
۵-۷ معرفی زلزله کره‌بس- ایران برای دوره بازگشت ۲۰۰ سال ۶۹
۵-۸ تصحیح خط مبنا ۷۱
۵-۹ فیلترکردن داده‌های زلزله ۷۳
۵-۱۰ پارامترهای مشخصات حرکت زمین ۷۴
۵-۱۱ بررسی شتاب‌نگاشت بعد از اعمال تصحیحات ۷۴
۵-۱۲ تحلیل پاسخ شتاب در حوزه فرکانس ۷۵
۵-۱۳ تحلیل پاسخ غیرخطی زمین به کمک نرم‌افزار NERA ۷۵
۵-۱۴ تاریخچه زمانی شتاب حرکت ورودی ۸۲
۵-۱۵ بررسی مشخصات رفتاری خاک در حین زلزله ۸۵
۵-۱۶ روش تفاضل محدود ۸۸
۵-۱۶-۱ بررسی مدل جهت اعتبارسنجی نتایج تحلیل دینامیکی ۸۸
۵-۱۶-۲ پارامترهای ژئوتکنیکی خاک محل ۹۰
۵-۱۶-۳ خصوصیات دینامیکی مصالح ۹۰

۵-۱۶-۴ مدل رفتاری ۹۱
۵-۱۶-۵ هندسه مدل ۹۱
۵-۱۷ نتایج تحلیل استاتیکی ۹۲
۵-۱۷-۱ دیواره گود غیرمسلح شده ۹۲
۵-۱۷-۲ دیواره گود مسلح شده ۹۷
۵-۱۸ تحلیل لرزه‌ای ۱۰۵
۵-۱۹ خلاصهٔ فصل ۱۱۸
فصل ششم - جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۱۹
۶-۱ مقدمه ۱۱۹
۶-۲ نتیجه‌گیری ۱۲۲
۶-۳ پیشنهادات و توصیه‌های آتی ۱۲۴
۶-۴ خلاصهٔ فصل ۱۲۴
پیوست الف ۱۲۵
پیوست ب ۱۲۸
مراجع ۱۴۸

فهرست اشکال

صفحه

شکل(۲-۱) دیوار مهار شده ۹

شکل(۲-۲) اجزاء تشکیل دهنده مهار زمینی ۱۱

شکل(۲-۳) کاربردهای مهارهای زمینی در سیستم‌های مهار شده ۱۲

شکل(۲-۴) مراحل اجراء دیوارهای نگهبان و مهار زمینی ۱۳

شکل(۴-۱) داده‌های خام زلزله بدون تصحیح خط مبنا ۴۶

شکل(۴-۲) داده‌های زلزله بعد از اعمال فرآیند تصحیح خط مبنا ۴۷

شکل(۴-۳) نمایش مدل تنش- کرنش در مدل خطی معادل ۵۱

شکل(۴-۴) مدل خطی معادل منحنی تنش- کرنش هیستریسیس ۵۲

شکل(۴-۵) منحنی کرنش نرم‌شوندگی در مقادیر τ/τ_{max} و G/G_{max} ۵۴

شکل(۴-۶) سیستم لایه‌بندی یک بعدی پروفیل خاک ۵۵

شکل(۴-۷) شرایط مرزی مدل جهت تحلیل سازه‌های سطحی با شرایط مرزهای محیط آزاد ۵۷

شکل(۴-۸) انواع بارگذاری دینامیکی و شرایط مرزی موجود در تحلیل دینامیکی ۶۱

شکل(۵-۱) دیواره شمالی پروژه بهار ۶۴

شکل(۵-۲) نمایی از دیواره جنوبی و غربی پروژه بهار ۶۴

شکل(۵-۳) دیواره جنوبی و غربی پروژه بهار ۶۵

شکل(۵-۴) شتاب‌نگاشت زلزله کره‌بس- ایستگاه خان‌زینو ۷۱

شکل(۵-۵) نمودار سرعت - زمان زلزله کره‌بس- ایستگاه خان‌زینو ۷۱

شکل(۵-۶) نمودار جابجایی- زمان زلزله کره‌بس- ایستگاه خان‌زینو ۷۱

شکل(۵-۷) پنجره ورود داده‌های شتاب‌نگاشت به نرم‌افزار Seismosignal ۷۲

شکل(۵-۸) شتاب‌نگاشت زلزله کره‌بس- ایستگاه خان‌زینو بعد از تصحیح خط مبنا ۷۲

شکل(۵-۹) نمودار سرعت- زمان زلزله کره‌بس- ایستگاه خان‌زینو بعد از تصحیح خط مبنا ۷۲

شکل(۵-۱۰) نمودار جابجایی- زمان زلزله کره‌بس- ایستگاه خان‌زینو بعد از تصحیح خط مبنا ۷۳

شکل(۵-۱۱) نمودار دامنه فوریه- فرکانس زلزله کره‌بس- ایستگاه خان‌زینو ۷۳

شکل(۵-۱۲) شتاب‌نگاشت بعد از تصحیح خط مبنا و فیلتر کردن داده‌های زلزله ۷۴

شکل(۵-۱۳) نمودار سرعت- زمان بعد از تصحیح خط مبنا و فیلتر کردن داده‌های زلزله ۷۵

شکل(۵-۱۴) نمودار جابجایی- زمان بعد از تصحیح خط مبنا و فیلتر کردن داده‌های زلزله ۷۵
شکل(۵-۱۵) نمودار پاسخ شتاب- فرکانس ۷۵
شکل(۵-۱۶) پنجره ورود اطلاعات پروفیل خاک به نرم‌افزار NERA ۷۶
شکل(۵-۱۷) تغییرات مشخصات پروفیل خاک با عمق ۷۷
شکل(۵-۱۸) منحنی نسبت مدولی برای ماسه ۷۹
شکل(۵-۱۹) منحنی نسبت مدولی برای رس ۷۹
شکل(۵-۲۰) تغییرات تنش و کرنش برشی با عمق ۸۰
شکل(۵-۲۱) تغییرات شتاب، سرعت و جابجایی در لایه‌های خاک با عمق ۸۱
شکل(۵-۲۲) تاریخچه زمانی شتاب در سطح زمین ۸۳
شکل(۵-۲۳) تاریخچه زمانی سرعت نسبی در سطح زمین ۸۳
شکل(۵-۲۴) تاریخچه زمانی جابجایی نسبی در سطح زمین ۸۳
شکل(۵-۲۵) تاریخچه زمانی شتاب در بستر سنگی ۸۴
شکل(۵-۲۶) نمودار تنش-کرنش خاک در لایه سطحی (لوپ هیستریسیس) ۸۶
شکل(۵-۲۷) نمودار فرکانس- نسبت بزرگنمایی ۸۶
شکل(۵-۲۸) نمودار فرکانس- دامنه فوریه ۸۷
شکل(۵-۲۹) نمودار پریود- شتاب طیفی ۸۷
شکل(۵-۳۰) نمودار پریود- سرعت طیفی ۸۷
شکل(۵-۳۱) نمودار پریود- جابجایی طیفی ۸۸
شکل(۵-۳۲) مقادیر جابجایی نهایی در انتهای مراحل گودبرداری در جهت محور x ۹۳
شکل(۵-۳۳) مقادیر جابجایی نهایی در انتهای مراحل گودبرداری در جهت محور y ۹۴
شکل(۵-۳۴) مقادیر جابجایی نهایی در انتهای مراحل گودبرداری در جهت محور z ۹۴
شکل(۵-۳۵) تاریخچه جابجایی در امتداد محور x بر روی گوشه ناحیه گودبرداری شده ۹۵
شکل(۵-۳۶) تاریخچه جابجایی در امتداد محورy بر روی گوشه ناحیه گودبرداری شده ۹۵
شکل(۵-۳۷) تاریخچه جابجایی در امتداد محور z بر روی گوشه ناحیه گودبرداری شده ۹۶
شکل(۵-۳۸) المان‌های ساختاری مدل شده در نرم‌افزار FLAC ۹۸
شکل(۵-۳۹) المان‌های ساختاری مدل شده به همراه مش‌بندی در نرم‌افزار FLAC ۹۹
شکل(۵-۴۰) مقادیر جابجایی کلی دیواره گود مسلح شده ۹۹

شکل(۵-۴۱) مقادیر جابجایی قائم دیواره گود مسلح شده ۱۰۰
شکل(۵-۴۲) مقادیر جابجایی دیواره گود مسلح شده در جهت محور x..... ۱۰۰
شکل(۵-۴۳) مقادیر جابجایی دیواره گود مسلح شده در جهت محور y..... ۱۰۱
شکل(۵-۴۴) بردار جابجایی و شکل‌گیری توده گسیختگی دیواره گود ۱۰۲
شکل(۵-۴۵) مقادیر جابجایی در امتداد مهاری‌ها ۱۰۳
شکل(۵-۴۶) نحوه شکل‌گیری و مقادیر بردار سرعت..... ۱۰۳
شکل(۵-۴۷) مقادیر و جهت تنش‌های اصلی ۱۰۴
شکل(۵-۴۸) مقادیر تنش قائم و چگونگی تغییرات ۱۰۴
شکل(۵-۴۹) شبکه‌بندی تفاضل محدود ۱۰۶
شکل(۵-۵۰) مقادیر جرم مخصوص خاک در لایه‌های مختلف..... ۱۰۶
شکل(۵-۵۱) مقادیر مدول حجمی در لایه‌های مختلف ۱۰۷
شکل(۵-۵۲) مقادیر مدول برشی در لایه‌های مختلف ۱۰۷
شکل(۵-۵۳) مقادیر مدول الاسیسیته در لایه‌های مختلف ۱۰۸
شکل(۵-۵۴) کنتورهای جابجایی دیواره گود بعد از اعمال زلزله ۱۰۹
شکل(۵-۵۵) تغییر مکان دیواره گود در جهت محور x ۱۰۹
شکل(۵-۵۶) تغییر مکان دیواره گود در جهت محور y ۱۱۰
شکل(۵-۵۷) تغییر مکان دیواره گود در جهت محور z ۱۱۰
شکل(۵-۵۸) شکل‌گیری و مقادیر بردار سرعت پس از زلزله ۱۱۲
شکل(۵-۵۹) مقادیر جابجایی در امتداد مهاری‌ها بعد از اعمال زلزله..... ۱۱۳
شکل(۵-۶۰) کنتور مقادیر تنش اصلی..... ۱۱۳
شکل(۵-۶۱) مقادیر تنش قائم در امتداد محور قائم ۱۱۴
شکل(۵-۶۲) مقادیر تنش قائم در امتداد محور x ۱۱۴
شکل(۵-۶۳) مقادیر تنش قائم در امتداد محور y ۱۱۵
شکل(۵-۶۴) مقادیر تنش برشی در امتداد محور yz ۱۱۵
شکل(۵-۶۵) مقادیر تنش برشی در امتداد محور xz ۱۱۶
شکل(۵-۶۶) مقادیر تنش برشی در امتداد محور xy ۱۱۶

فهرست جداول

صفحه

جدول(۱-۱) انواع سیستم‌ها و طبقه‌بندی‌های سازه‌های نگهبان ۲
جدول(۲-۱) انواع ناپایداری لرزه‌ای شیروانی‌ها و روش‌های تحلیل آن ۱۶
جدول(۵-۱) مراحل مختلف گودبرداری و کد ارتفاعی هر مرحله ۶۵
جدول(۵-۲) مشخصات اجرایی مهاری‌ها ۶۶
جدول(۵-۳) شتاب‌نگاشت‌های به مقیاس درآمده برای دوره بازگشت ۲۰۰ سال ۶۹
جدول(۵-۴) پارامترهای اصلی مشخصه حرکت زمین ۷۴
جدول(۵-۵) مقادیر ماکزیمم شتاب، سرعت و جابجایی نسبی در سطح زمین ۸۴
جدول(۵-۶) مقادیر ماکزیمم شتاب، سرعت و جابجایی نسبی در بسترسنگی ۸۵
جدول(۵-۷) مدول مناسب وابسته به مد تغییرشکل ۸۹
جدول(۵-۸) خصوصیات مصالح ۸۹
جدول(۵-۹) مقایسه پریود تئوری و پریود دینامیکی ارتعاشی محاسبه شده در $FLAC^{3D}$ برای سه مد مختلف ۹۰
جدول(۵-۱۰) مشخصات عمومی خاک ۹۰
جدول(۵-۱۱) مشخصات خصوصی خاک ۹۱
جدول(۵-۱۲) توصیف کمی و کیفی درجات خسارت به دیوارهای مسلح شده با مهاری در خلال زلزله ۱۱۱
جدول(۵-۱۳) مقادیر پارامتری مربوط به مهاری‌ها در مراحل مختلف گودبرداری ۱۱۷

1

فصل اول
کلیات

۱-۱ مقدمه

در بسیاری از پروژه‌ها لازم است که زمین به صورتی خاکبرداری شود که جداره‌های آن قائم یا نزدیک به قائم باشند. این کار ممکن است به منظور احداث زیرزمین، کانال، منبع آب و ... صورت گیرد. فشار جانبی وارد به این جداره‌ها ناشی از رانش خاک بر اثر وزن خود آن و نیز سربارهای احتمالی روی خاک مجاور گود می‌باشد. به منظور جلوگیری از ریزش ترانشه و تبعات منفی احتمالی ناشی از این خاکبرداری، سازه موقتی یا دائمی را برای مهار ترانشه اجرا می‌کنند که به آن سازه نگهبان می‌گویند.

اهداف اصلی ایمن سازی جداره‌های گود با استفاده از سازه‌های نگهبان عبارتند از:

- حفظ جان انسان‌های خارج و داخل گود
- حفظ اموال خارج و داخل گود
- فرآهم آوردن شرایط امن و مطمئن برای اجرا کار.

موضوع گودبرداری، طراحی و اجرای سازه‌های نگهبان در مهندسی عمران دارای گستره وسیعی است که نیاز به بررسی، مطالعات و ملاحظات ژئوتکنیکی، سازه‌ای، مواد و مصالح، تکنولوژیکی و اجرایی، اقتصادی و اجتماعی دارد. در نتیجه می-توان گفت که انتخاب روش مناسب بستگی به جمیع شرایط تأثیر گذار دارد و می‌تواند در شرایط مختلف به صورت‌های گوناگونی باشد. از سوی دیگر، تئوری‌ها و روش‌های اجرایی گودبرداری و سازه‌های نگهبان، مبتنی بر اصول تئوریک و متأثر از ملاحظات اجرایی و تجربی است.

۱-۲ سازه نگهبان

به طور کلی سازه‌های نگهبان را می‌توان به دو گروه اصلی زیر مطابق با جدول ۱-۱ طبقه بندی نمود.

۱- سازه تثبیت کننده از بیرون[1]

۲- سازه تثبیت شده از درون[2]

جدول ۱-۱ انواع سیستم‌ها و طبقه‌بندی‌های سازه‌های نگهبان

تثبیت کننده از بیرون

اجرای دیوار با خاکریزی

دیوارهای وزنی و نیمه وزنی صلب

- دیوار وزنی
- دیوار بتنی پشت بنددار / طره‌ای درجا ریز

دیوار وزنی با قطعات پیش ساخته

- دیوار قفسه‌ای
- دیوار صندوقی
- دیوار تورسنگی

دیوار مهار

اجرای دیوار با خاکبرداری

دیوارهای غیر وزنی طره‌ای

- دیوار سپری
- دیوار با شمع و تخته گذاری
- دیوار (دیافراگم) با دوغاب
- دیوار با شمع‌های متقاطع و مماسی
- دیوار با خاک مختلط

تثبیت شده از درون

دیوارهای با خاکریز مسلح

- دیوار خاکریز مسلح با نمای پیش ساخته مجزا از هم
- دیوار خاکریز مسلح با نمای متشکل از بلوک-های چند تکه پیش ساخته
- دیوار خاکریز مسلح با نمای ژئوتکستایل، ژئوگرید یا شبکه سیمی جوش شده

دیوارهای مسلح درجا

- دیوار میخ‌کوبی شده
- دیوار با شمع کوچک

1. Externally Stabilized System
2. Internally Stabilized System

۱-۲-۱ سازه تثبیت کننده از بیرون

سازه تثبیت کننده از بیرون، شامل یک دیوار سازه‌ای است که در مقابل توده خاک احداث می‌شود و نیروهای پایدار کننده در پشت آن فعال می‌گردند. انواع دیوارهای حائل شامل دیوارهای وزنی و نیمه وزنی صلب، دیوار طره‌ای بتن آرمه، دیوار پشت‌بنددار (پره‌دار)[1] و نیز دیوار وزنی با قطعات پیش‌ساخته شامل دیوار تورسنگی، دیوار قفسه‌ای[2] و دیوار صندوقی معمول در این گروه قرار دارند. دیوارهای غیر وزنی طره‌ای نیز شامل دیوار سپری، دیوار با شمع و تخته‌گذاری، دیوار (دیافراگم) با دوغاب، دیوار با شمع‌های متقاطع و مماسی و دیوار با خاک مختلط می‌باشد. یکی دیگر از انواع سازه نگهبان که امروزه کاربرد فراوانی یافته است، دیوار مهار شده می‌باشد که در فصل دوم به طور کامل توضیح داده خواهد شد.

۱-۲-۲ سازه تثبیت شده از درون

یک سازه تثبیت شده از درون شامل مسلح کننده‌هایی است که در خاک نصب شده و تا پشت توده فعال خاک ادامه پیدا می‌کنند. در این سیستم برش منتقل شده به المان‌های مسلح کننده خاک باعث فعال شدن ظرفیت کششی آن‌ها شده و در نتیجه نیاز به یک دیوار سازه‌ای را از بین می‌برد. در حقیقت یک سیستم مرکب از المان‌های مسلح کننده با خاک به عنوان یک عضو سازه‌ای عمل می‌کند. علاوه بر این به منظور جلوگیری از خراب شدگی‌ها و فرسودگی‌های موضعی در خاک از یک سیستم رویه که دارای نقش سازه‌ای نمی‌باشد، نیز استفاده می‌شود. در فرآیند مسلح سازی خاک معمولاً المان‌های لایه‌ای عمدتاً افقی، مانند تسمه‌های فلزی، شبکه‌های پلیمری و یا میخ‌های کوبیده شده در خاک، در حین ساخت و به طور درجا نصب می‌گردند و در نتیجه توده خاک به گونه‌ای تقسیم‌بندی می‌شود که هر لایه به وسیله یک سری المان مسلح کننده به صورت موضعی پایدار گردد. دیوارهای با خاکریز مسلح[3] شامل دیوار خاکریز مسلح با نمای پیش‌ساخته مجزا از هم، دیوار خاکریز مسلح با نمای متشکل از بلوک‌های چند تکه پیش‌ساخته و دیوار خاکریز مسلح با نمای ژئوتکستایل، ژئوگرید یا شبکه سیمی جوش شده و نیز دیوارهای مسلح درجا[4] شامل دیوار با شمع کوچک[5] و دیوار میخ کوبی شده از این نوع می‌باشند.

1. Counterfort Wall
2. Crib Wall
3. Mechanical Stabilized Earth Wall
4. In-Situ Reinforced Wall
5. Micropile Wall

۱-۳ بیان کلی مسأله

در بسیاری از زلزله‌ها، خسارات ناشی از زمین لغزه‌ها مساوی و یا بیشتر از خسارات سایر خطرات زلزله در مجموع بوده است. لذا عملکرد دیوار عمودی در گودبرداری‌های عمیق تحت نیروی زلزله مسأله بسیار مهمی است. در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای برای بررسی پایداری ترانشه‌ها تحت اثر بارهای ناشی از زلزله انجام گرفته است. در این میان روش تعادل حدی و اعمال نیروی زلزله بصورت شبه استاتیکی، روشی متداول در مطالعه پایداری لرزه‌ای شیروانی‌های خاکی است، لیکن به دلیل ماهیت متناوب نیروی زلزله و تغییرات پیوسته شتاب و نیرو با زمان، تحلیل شبه‌استاتیکی نمی‌تواند به صورت مناسبی معرف رفتار مدل باشد.

در حال حاضر به دلیل پیچیدگی مسئله، تحلیل عملکرد دیواره گود معمولاً در حالت دو بعدی انجام می‌شود. حال آن که تحلیل دیواره گود در شرایطی که سربار سطحی در بالادست آن قرار داشته باشد، مسئله‌ای کاملاً سه بعدی بوده و تحلیل آن به صورت دو بعدی خالی از اشکال نیست. حال چنان‌چه سربار اعمالی در مجاورت محلی باشد که گودبرداری در آن مد نظر است سبب ایجاد جابجایی در دیواره‌های گود خواهد شد. هر چه سربار اعمالی بیشتر باشد مقادیر جابجایی دیواره گود افزوده و نیز عمق پایدار گود (که بدون احداث سازه نگهبان دیواره گود پایدار می‌ماند) کاهش خواهد یافت. تعیین محدوده سربار که تنها در تحلیل‌های سه بعدی میسر است می‌تواند جهت کنترل طرح و انتخاب ضریب اطمینان مناسب طراحی در حالات استاتیکی سودمند باشد. به دلیل تمرکز تنش و شرایط موجود در نقاط گوشه ناحیه گودبرداری شده، لازم به ذکر است که بررسی مقادیر تغییر شکل گوشه ناحیه گودبرداری شده در تحلیل‌های دو بعدی ممکن نبوده و تنها در تحلیل‌های سه بعدی امکان‌پذیر است.

در این پژوهش سعی شده است تا عملکرد لرزه‌ای دیوار مهار شده در گودبرداری‌های عمیق تحت نیروی زلزله به کمک نرم‌افزار $FLAC^{3D}$ مورد بررسی قرار گیرد. این نرم‌افزار 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. عملکرد دیوار مهار شده تحت نیروی زلزله به صورت سه بعدی مورد بررسی قرار گرفته و در انتها نتایج تحلیل سه بعدی مورد ارزیابی قرار گرفته است.