

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه زنجان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه عمران

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

عنوان پایان نامه:

بررسی پتانسیل روانگرایی در آبرفت پی پس از ساخت سد با  
تمرکز بر اصلاح مقاومت پی

تهیه و تنظیم:

رضا تقی لو

استاد راهنما:

دکتر رضا مهین روستا

موسسه تحقیقات و خدمات مهندسی عمران  
تهیه مدارک

۱۳۸۸/۶/۱۱

زمستان ۸۷

۱۱۶۱۹۸



دانشگاه زنجان

بسمه تعالی

شماره: ت-م- ۲۹۲

تاریخ: ۸۷، ۱۱، ۲۱

پیوست:

صور تجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای رضا نقی لو

رشته: مهندسی عمران ( خاک و پی)

تحت عنوان: بررسی پتانسیل روانگرایی در آبرفت پی پس از ساخت سد با تمرکز بر اصلاح مقاومت پی

که در تاریخ ۸۷/۱۱/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه زنجان برگزار گردید به شرح زیر است:

قبول (با درجه: عالی) امتیاز: ۱۹،۹۱ - دفاع مجدد  مردود

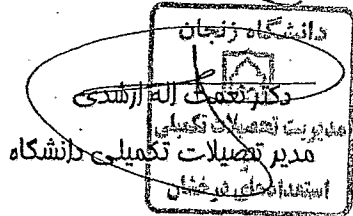
۱. عالی (۲۰-۱۸)

۲. بسیار خوب (۹۹-۱۷-۱۶)

۳. خوب (۹۹-۱۵-۱۴)

۴. قابل قبول (۹۹-۱۳-۱۲)

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران	ردیف
	استادیار	دکتر رضا مهین روستا	استاد راهنما	۱
	استادیار	دکتر محمود یزدانی	استاد ممتحن	۲
	استاد یار	دکتر جلال بازرگان	استاد ممتحن	۳
	استادیار	دکتر ابوالفضل جلیوند	نماینده تحصیلات تکمیلی	۴



مهندس محمد مصطفوی  
معاون آموزشی دانشکده مهندسی

تقدیم به پدر و مادر عزیزتر از جانم

## تقدیر و تشکر

زندگی صحنهٔ یکتای هنرمندی ماست هر کسی نغمهٔ خود خواند و از صحنه رود

صحنه پیوسته به جاست خرم آن نغمه که مردم بسپارند به یاد

سپاس پروردگار یگانهٔ یاری رسان را، و درود بر سرورمان محمد (ص) و دودمانش!

خداوند را شاکرم که با الطاف بی‌کران خود به من توفیق داد تا گامی هر چند کوچک در راه تحصیل علم و دانش بردارم و از او می‌خواهم که مرا در این مسیر یاری و از لغزشهای زندگی مصون بدارد.

در اینجا لازم می‌دانم از استاد راهنمای بسیار بزرگوارم جناب آقای دکتر رضا مهین‌روستا که نه تنها در زمینهٔ علمی الگوی بنده بودند، بلکه حسنات اخلاقی ایشان نیز همواره برای من سرمشق بوده و خواهد بود، صمیمانه تقدیر و تشکر کنم.

از دیگر اساتید محترم گروه آقایان دکتر بازرگان، دکتر جوانمرد و دکتر معارف‌وند نیز که در طول دورهٔ کارشناسی ارشد از محضرشان بهره‌مند بوده‌ام، کمال تشکر را دارم.

مراتب سپاس و قدردانی خود را از شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس بدلیل همکاری مناسب در تهیه اطلاعات مورد نیاز بیان میدارم.

از تمام دوستانم که در انجام این پروژه کمکهای فراوانی نمودند به ویژه آقایان یادی، سلیمانی قره‌گل، کاظمی، جعفری، احمدی، خانکی، جلالی، صفایی و خانم رفعتی صمیمانه تشکر می‌کنم.

از خانوادهٔ عزیزم که وجودشان همواره مایهٔ آرامشم هستند نهایت سپاس و تشکر را دارم.

و من الله التوفیق

رضا نقی‌لو زمستان ۸۷

## چکیده

ارزیابی پتانسیل روانگرایی سدهای خاکی واقع بر لایه‌های آبرفتی و ماسه‌ای اشباع با دانسیته نسبی پایین در حین زلزله، اهمیت بسیار زیادی دارد. در طی دهه‌های اخیر فرمول‌های تجربی بسیاری برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی از سوی محققین مختلف ارائه شده است. مؤثرترین فرمول‌های ارائه شده از نظر تسهیل کاربرد آنها در کارهای مهندسی، فرمول‌هایی هستند که بر اساس عدد نفوذ استاندارد اصلاح شده ارائه شده‌اند. در این فرمولها برای تخمین مقاومت روانگرایی ماسه تمیز در عمقهای مختلف، دو نوع اصلاح شامل اصلاح مقاومت نفوذ به تنش سربار یک اتمسفر ( $C_N$ ) و اصلاح نسبت مقاومت برشی تناوبی (CRR) نسبت به اثرات تنش سربار ( $K_\sigma$ )، انجام می‌شود. این فاکتورها اخیراً با استفاده از شاخص پارامتر وضعیت نسبی (Relative state parameter index) یا ( $\xi_R$ ) توسط محققین مجدداً مورد محاسبه قرار گرفته‌اند. علاوه بر آن، مفهوم مقاومت نفوذ اصلاح شده، به عنوان یک روش دیگر برای در نظر گرفتن اثر تنش سربار بر روی مقاومت برشی تناوبی مصالح معرفی شده است. هدف اصلی این تحقیق ارزیابی اثر اضافه سربار ناشی از ساخت سد بر روی پتانسیل روانگرایی آبرفت‌های مستعد روانگرایی است. تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی ابتدا بر روی آبرفت طبیعی انجام شده است. سپس تحلیل‌های فوق برای شرایط پایان ساخت و آگیری نیز تکرار شدند. در ادامه جهت اصلاح خواص رفتاری مصالح در اثر ساخت سد روشی ارائه شده است که در آن دانسیته نسبی مصالح اصلاح می‌شود. تحلیل‌های فوق برای شرایط پایان ساخت و آگیری، بعد از اصلاح دانسیته نیز انجام می‌شوند. شبیه سازی عددی روانگرایی در این تحقیق با استفاده از نرم-افزار تفاضل محدود FLAC4 انجام گرفته است. در ابتدا تحلیل‌های دینامیکی به روش معادل خطی انجام شده است. در روش معادل خطی سه پارامتر مدول برشی حداکثر ( $G_{max}$ )، تغییرات نسبت کاهش مدول ( $G/G_{max}$ ) و میرایی ( $\xi$ ) با کرنش برشی در نظر گرفته می‌شود. روش حل معادل خطی با استفاده از برنامه جانبی (Fish) به نرم‌افزار FLAC4 معرفی شده است. تحلیل‌ها برای سطوح زلزله DBL، MDL و MCL بر روی یک سد انجام شده است. همچنین جهت ارزیابی اثر اعداد نفوذ استاندارد، با اعمال اعداد نفوذ استاندارد ثابت و یکسان به کل پی آبرفتی در سه حالت پائین ( $(N_1)_{60} = 8$ )، متوسط ( $(N_1)_{60} = 15$ ) و بالا ( $(N_1)_{60} = 25$ ) به بررسی پتانسیل روانگرایی پرداخته شده است. در پایان نیز با استفاده از مدل Finn که در نرم‌افزار Flac وجود دارد به بررسی پدیده روانگرایی در پی آبرفتی قبل و بعد از احداث سد پرداخته شده و نتایج بدست آمده از این روش با نتایج قبلی مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به تحلیل‌های انجام شده مشاهده می‌شود که با احداث سازه سد، پتانسیل روانگرایی در پی آبرفتی کمتر خواهد شد. در صورتی که اصلاح دانسیته خاک به دلیل ساخت سد نیز انجام شود، با توجه به استحکام مصالح احتمال افزایش یا کاهش ضریب اطمینان در برابر روانگرایی نسبت به عدم اصلاح دانسیته وجود دارد.

واژگان کلیدی: روانگرایی، اضافه فشار سربار، عدد SPT، روش معادل خطی، مدل Finn

## فهرست عناوین:

۱	۱- مقدمه
۱	۱.۱- تعریف روانگرایی
۳	۲.۱- هدف تحقیق
۴	۲- ارزیابی پتانسیل روانگرایی
۴	۱.۲- مکانیزم روانگرایی و ارزیابی پتانسیل وقوع آن
۱۰	۲.۲- مکانیزم ارزیابی نسبت تنش برشی تناوبی (CSR) در تحلیلهای دینامیکی
۱۱	۳.۲- روشهای ارزیابی نسبت مقاومت برشی تناوبی (CRR)
۱۱	۱.۳.۲- ارزیابی کیفی پتانسیل روانگرایی در خاکها
۱۱	۱.۱.۳.۲- خاکهای دانهای
۱۳	۲.۱.۳.۲- خاکهای چسبنده
۱۷	۲.۳.۲- روشهای آزمایشگاهی ارزیابی نسبت مقاومت تناوبی
۱۸	۳.۳.۲- روشهای تطبیقی ارزیابی نسبت مقاومت تناوبی
۲۰	۴.۳.۲- اثر تنش سربار در مقاومت در برابر روانگرایی
۲۷	۱.۴.۳.۲- کارهای اخیر انجام گرفته جهت اصلاح مقاومتهای نفوذ
۳۳	۲.۴.۳.۲- سایر اصلاحات مربوط به عدد نفوذ استاندارد SPT
۳۵	۵.۳.۲- روشهای اخیر جهت ارزیابی نسبت مقاومت تناوبی
۳۵	۱.۵.۳.۲- تخمین CRR براساس $(N_{1\bar{\xi}})_{60}$ و $q_{c1\bar{\xi}}$

۳۷	۴.۲- ضرایب اصلاحی بزرگی زلزله
۴۱	۵.۲- اصلاحات لازم جهت تنشهای برشی استاتیکی اولیه و تنشهای سربار بالا
۴۲	۱.۵.۲- اصلاحات لازم جهت تنشهای برشی استاتیکی اولیه
۴۶	۱.۱.۵.۲- تأثیر پارامتر $Q$ بر $K_{\alpha}$
۴۷	۲.۵.۲- فاکتور اصلاح $K_{\sigma}$ برای تنشهای سربار بالا
۴۹	۱.۲.۵.۲- روابط $K_{\sigma}$ معادل بدست آمده از مطالعات اخیر
۵۵	۳. انجام تحلیل های دینامیکی با استفاده از نرم افزار FLAC
۵۵	۱.۳- معرفی نرم افزار FLAC
۵۶	۱.۱.۳- مقایسه با سایر روشها
۵۸	۲.۱.۳- ویژگیهای کلی
۵۸	۳.۱.۳- مدلبندی فرآیندها و برهم کنشهای فیزیکی
۵۹	۴.۱.۳- تحلیل دینامیکی در نرم افزار FLAC
۶۰	۲.۳- معرفی انواع تحلیلهای دینامیکی
۶۰	۱.۲.۳- روش معادل خطی
۶۲	۱.۱.۲.۳- خواص مصالح در تحلیل های دینامیکی به روش معادل خطی
۶۲	۲.۱.۲.۳- مشخصات روش معادل خطی
۶۳	۲.۲.۳- مشخصات روشهای کاملاً غیرخطی
۶۵	۳.۳- ملاحظات لازم در مدل دینامیکی
۶۵	۱.۳.۳- شرایط مرزی و بارگذاری دینامیکی



۶۶	۲.۳.۳- اعمال ورودی دینامیکی
۶۸	۳.۳.۳- مرزهای ناحیه آزاد (Free field)
۶۹	۴.۳.۳- میرایی در مصالح
۷۰	۱.۴.۳.۳- میرایی سه بعدی
۷۰	۲.۴.۳.۳- میرایی مکانیکی
۷۱	۳.۴.۳.۳- میرایی رایلی
۷۳	۴.۴.۳.۳- میرایی هیترسیس
۷۴	۴.۳- معرفی مدل رفتاری Finn
۷۸	۴- ارزیابی پتانسیل روانگرایی به علت ساخت سد با استفاده از روش معادل خطی
۷۹	۱.۴- مشخصات هندسی و پارامترهای رفتاری تحلیل استاتیکی
	۱.۱.۴- هندسه طرح
	۷۹
۸۱	۲.۱.۴- پارامترهای ژئوتکنیکی مورد استفاده در تحلیل‌های استاتیکی
۸۲	۲.۴- تاریخچه زلزله در سه تراز طراحی
۸۲	۳.۴- پارامترهای دینامیکی مورد استفاده در تحلیل‌های معادل خطی
۸۵	۴.۴- خلاصه روابط مورد استفاده جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی در آبرفت
۹۴	۵.۴- معرفی انواع تحلیل‌های انجام شده جهت کنترل روانگرایی
۹۴	۱.۵.۴- ارزیابی پتانسیل روانگرایی پی آبرفتی با روش‌های مرسوم
۹۵	۱.۱.۵.۴- اثر عدد SPT و سطح زلزله در روانگرایی
۱۰۰	۲.۵.۴- ارزیابی پتانسیل روانگرایی پی آبرفتی با استفاده از تحلیل دینامیکی به روش معادل خطی

- ۱۰۴ - ۳.۵.۴- بررسی روانگرایی در آبرفت پی پس از ساخت سد
- ۱۰۴ - ۱.۳.۵.۴- بررسی روانگرایی پی پس از ساخت سد بدون اصلاح دانسیته در سطوح مختلف لرزه‌ای
- ۱۱۵ - ۴.۵.۴- اصلاح  $(N_1)_{60}$  در پی آبرفتی بدلیل ساخت سد
- ۱۱۹ - ۱.۴.۵.۴- ارزیابی روانگرایی پی بعد از ساخت سد و بعد از اصلاح دانسیته
- ۱۲۳ - ۵.۵.۴- ارزیابی روانگرایی پی پس از آگیری سد
- ۱۲۷ - ۱.۵.۵.۴- ارزیابی روانگرایی پی پس از آگیری سد با اصلاح دانسیته
- ۱۳۱ - ۶.۵.۴- مقایسه ضرایب اطمینان در شرایط مختلف آبرفت
- ۱۳۵ - ۷.۵.۴- مطالعه موردی پتانسیل روانگرایی در پی آبرفتی سد سیمینه رود
- ۱۳۵ - ۱.۷.۵.۴- بافت تراکمی سد سیمینه رود
- ۱۳۶ - ۲.۷.۵.۴- ارزیابی پتانسیل روانگرایی پی آبرفتی سد سیمینه رود در سطوح زلزله مختلف
- ۱۳۹ - ۳.۷.۵.۴- ارزیابی پتانسیل روانگرایی سد سیمینه رود پس از ساخت و بعد از اصلاح دانسیته، در سطوح مختلف لرزه‌ای
- ۱۳۹ - ۱.۳.۷.۵.۴- سطح زلزله DBL
- ۱۴۱ - ۲.۳.۷.۵.۴- سطح زلزله MDL
- ۱۴۳ - ۳.۳.۷.۵.۴- سطح زلزله MCL
- ۱۴۵ - ۴.۷.۵.۴- ارزیابی پتانسیل روانگرایی پی آبرفتی سد سیمینه رود بعد از آگیری سد و اصلاح دانسیته مصالح
- ۱۴۵ - ۱.۴.۷.۵.۴- سطح زلزله DBL
- ۱۴۷ - ۲.۴.۷.۵.۴- سطح زلزله MDL
- ۱۴۹ - ۳.۴.۷.۵.۴- سطح زلزله MCL
- ۱۵۱ - ۵.۷.۵.۴- مقایسه ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی سد سیمینه رود

- ۱۵۴ ۵- ارزیابی پتانسیل روانگرایی پی آبرفتی با استفاده از مدل FINN
- ۱۵۴ ۱-۵- تحلیل حساسیت مدل Finn نسبت به پارامترهای آن
- ۱۵۶ ۲-۵- ارزیابی پارامتریک پتانسیل روانگرایی با استفاده از مدل Finn
- ۱۵۷ ۱-۲-۵- ارزیابی پتانسیل روانگرایی پی در حالت  $(N_1)_{60} = 8$
- ۱۶۳ ۲-۲-۵- ارزیابی پتانسیل روانگرایی پی در حالت  $(N_1)_{60} = 15$
- ۱۶۹ ۳-۲-۵- ارزیابی پتانسیل روانگرایی پی در حالت  $(N_1)_{60} = 25$
- ۱۷۵ ۳-۵- ارزیابی پتانسیل روانگرایی پی آبرفتی سد سیمینه رود با استفاده از مدل Finn
- ۱۸۲ ۱-۳-۵- حساسیت مدل Finn به چند پارامتر مؤثر در روانگرایی
- ۱۸۸ ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات
- ۱۸۸ ۱-۶- نتایج حاصل از مدل معادل خطی
- ۱۸۹ ۲-۶- نتایج حاصل از مدل غیرخطی FINN
- ۱۹۰ ۳-۶- پیشنهادات

## فهرست اشکال:

- شکل ۲-۲. نتایج  $r_d$  از تحلیلهای پاسخ برای ۲۱۵۳ ترکیب شرایط محلی و حرکات زمین که توسط خطوط روی هم نشان داده شده‌اند (الف) مقادیر قبلی پیشنهاد شده توسط سید و ادريس (۱۹۷۱) و (ب) مقادیر متوسط و  $\pm 1$  انحراف معیار برای ۲۱۵۳ حالت تحلیل شده [چتین و سید (۲۰۰۰)]..... ۶
- شکل ۲-۱. مقادیر  $r_d$  در برابر عمق ارائه شده توسط سید و ادريس (۱۹۷۱) و خطوط مقادیر متوسط که با استفاده از معادله (۲) به آن اضافه شده است ..... ۷
- شکل ۲-۳. تغییرات ضریب کاهش تنش با عمق و بزرگای زلزله [ادريس ۱۹۹۹] ..... ۸
- شکل ۲-۴. نتایج  $r_d$  حاصل از پاسخ لرزه‌های بیش از ۲۱۵۳ محل، به صورت تابعی از شتاب ماکزیمم سطح ( $a_{max}$ )، سختی محل ( $V_{s,40ft}$ ) و بزرگی زلزله ( $M_W$ ) [چتین و همکاران (۲۰۰۱)]، (ادامه دارد ....) ..... ۱۰
- شکل ۲-۴. نتایج  $r_d$  حاصل از پاسخ لرزه‌های بیش از ۲۱۵۳ محل، به صورت تابعی از شتاب ماکزیمم سطح ( $a_{max}$ )، سختی محل ( $V_{s,40ft}$ ) و بزرگی زلزله ( $M_W$ ) (ادامه دارد ....) ..... ۱۱
- شکل ۲-۴. نتایج  $r_d$  حاصل از پاسخ لرزه‌های بیش از ۲۱۵۳ محل، به صورت تابعی از شتاب ماکزیمم سطح ( $a_{max}$ )، سختی محل ( $V_{s,40ft}$ ) و بزرگی زلزله ( $M_W$ ) ..... ۱۲
- شکل ۲-۵. تاریخچه تنش برشی تناوبی در عمق ۲۲/۵ متری از سطح زمین، تحت زلزله DBL ..... ۱۳
- شکل ۲-۶. نمودار تعیین امکان روانگرایی از روی منحنی دانه بندی [ایشی هارا ۱۹۸۰] ..... ۱۵
- شکل ۲-۷. معیار روانگرایی چینیه‌ها برای خاکهای ریزدانه، [ونگ (۱۹۷۹)] ..... ۱۶
- شکل ۲-۸. معیار اصلاح شده چینیه‌ها (بعد از ونگ ۱۹۷۹)، [سید و ادريس (۱۹۸۲)] ..... ۱۷
- شکل ۲-۹. معیار پیشنهادی اندرو و مارتین (۲۰۰۰) برای ارزیابی استعداد روانگرایی خاکهای ریزدانه ..... ۱۸
- شکل ۲-۱۰. نمودار پلاستیسیته که بیانگر پیشنهادات ارائه شده توسط سید (۲۰۰۳) و حدود اتربرگ خاکهای ریزدانه ارائه شده توسط بری و همکاران (۲۰۰۴) که از نتایج مربوط به ۱۲ ساختمان روانگرا شده در اثر زلزله کواکالی (۱۹۹۹) بدست آمده است ..... ۱۹
- شکل ۲-۱۱. رابطه مابین نسبت مقاومت تناوبی و  $(N_1)_{60}$  و برای زلزله با بزرگی ۷/۵ ..... ۲۲

- شکل ۲-۱۲. ضریب اصلاح SPT برای فشار سربار اضافی و پیش تحکیمی (الف) فاکتور اصلاحی برای فشار سربار اضافی (لیائو و وایتمن ۱۹۸۵، جامیلکووسکی و همکاران ۱۹۸۵) (ب) فاکتور اصلاحی برای افزایش در تنش متوسط بر اثر تحکیم اضافی (لیائو و وایتمن ۱۹۸۵، تاکی ماتسو ۱۹۸۸) ..... ۲۸
- شکل ۲-۱۳. منحنیهای  $C_N$  برای ماسه‌های گوناگون براساس داده‌های محلی و آزمایشهای آزمایشگاهی همراه با منحنی  $C_N$  پیشنهادی که توسط معادلات (۲-۳۱) و (۲-۳۲) تعیین میشوند (اصلاح شده از طرف کاسترو ۱۹۹۵) ..... ۳۰
- شکل ۲-۱۴. فاکتور اصلاح سربار اضافی  $C_N$  با استفاده از روابط (۲-۳۸) و (۲-۳۹)، [بولانژر ۲۰۰۴] ..... ۳۲
- شکل ۲-۱۵. نمودار تعیین شاخص پارامتر وضعیت نسبی ( $\xi_R$ )، [بولانژر ۲۰۰۴] ..... ۳۳
- شکل ۲-۱۶. فاکتور اصلاح  $C_{\xi}$  برای محدوده  $(N_1)_{60}$  با استفاده از معادله (۲-۴۶)، [بولانژر ۲۰۰۴] ..... ۳۵
- شکل ۲-۱۷. فاکتور اصلاح  $C_{\xi}$  برای محدوده  $q_{c1N}$  با استفاده از معادله (۲-۴۸)، [بولانژر ۲۰۰۴] ..... ۳۵
- شکل ۲-۱۸. روابط  $CRR - (N_1)_{60}$  برای یک محدوده تنشهای سربار اضافی مؤثر و رابطه یکتا و واحد  $CRR - (N_{1\xi})_{60}$ ، [بولانژر ۲۰۰۴] ..... ۳۹
- شکل ۲-۱۹. رابطه بزرگی زلزله، تعداد سیکلهای لازم جهت روانگرایی و نسبت تنش تناوبی، [سید و ادريس ۱۹۸۲] ..... ۴۱
- شکل ۲-۲۰. محدوده پیشنهادی اعضای گروه کاری NCEER برای فاکتورهای مقیاس بزرگی ..... ۴۳
- شکل ۲-۲۱. مقادیر فاکتور بزرگی مقیاس [ادريس ۱۹۹۹] ..... ۴۴
- شکل ۲-۲۲. تنش برشی و تنش عمودی مؤثر بر صفحات عمودی و افقی در یک المان از خاک ..... ۴۵
- شکل ۲-۲۳. تغییرات  $K_{\alpha}$  براساس تعداد ضربات نفوذ استاندارد SPT، [هاردر و بولانژر ۱۹۹۷] ..... ۴۷
- شکل ۲-۲۴. تغییرات  $K_{\alpha}$  بر حسب  $\alpha$  برای شاخص های پارامتر وضعیت نسبی گوناگون ..... ۴۸
- شکل ۲-۲۵. مقادیر  $K_{\sigma}$  بدست آمده از تحقیقات مختلف، [سید و هاردر ۱۹۹۰] ..... ۵۰
- شکل ۲-۲۶. داده های آزمایشگاهی و منحنیهای  $K_{\sigma}$  گردآوری شده [هاینز و اولسن ۱۹۹۹] ..... ۵۱
- شکل ۲-۲۷. ضریب  $K_{\sigma}$  در اصلاح CRR، [گروه کاری NCEER] ..... ۵۲
- شکل ۲-۲۸. روابط استخراج شده از روابط  $\xi_R$  [بولانژر ۲۰۰۴] ..... ۵۴

- شکل ۲-۲۹. حساسیت روابط  $K_{\sigma}$  به  $K_0$  و  $Q$ ، [بولانژر ۲۰۰۴]..... ۵۴
- شکل ۳-۱. شرایط مرزی بارگذاری دینامیکی در حالت مرز انعطاف‌پذیر..... ۶۵
- شکل ۳-۲. شرایط مرزی بارگذاری دینامیکی در حالت مرز صلب..... ۶۶
- شکل ۳-۳. مدلی برای تحلیل‌های لرزهای سازه‌های سطحی و شبکه‌ی مرز آزاد..... ۶۸
- شکل ۳-۴. تغییرات نسبت میرایی بحرانی اصلاح شده با فرکانس زاویه‌ای..... ۷۳
- شکل ۴-۱. مقطع عرضی ونواحی مختلف بدنه سد در تحلیل‌های تنش-کرنش، [گزارش خصوصیات ژئوتکنیکی شرکت مه‌اب قدس]..... ۸۱
- شکل ۴-۲. تاریخچه زلزله طرح در شرایط DBL, MDL, MCL..... ۸۲
- شکل ۴-۳. تغییرات نسبت مدول برشی با کرنش برشی در نواحی مختلف مدل..... ۸۴
- شکل ۴-۴. تغییرات نسبت میرایی با کرنش برشی در نواحی مختلف مدل..... ۸۴
- شکل ۴-۵. کانتورهای الف) اعداد نفوذ استاندارد  $(N_1)_{60}$  ب) ضریب  $C_N$  پ) اعداد نفوذ استاندارد اصلاح شده  $(N_1)_{60}$ ..... ۹۱
- شکل ۴-۶. کانتورهای الف) ضریب  $K_{\alpha}$  ب) ضریب  $K_{\sigma}$  پ) نسبت مقاومت تناوبی  $CRR_{7.5}$ ..... ۹۲
- شکل ۴-۷. کانتورهای الف) نسبت مقاومت تناوبی نهایی بعد از اعمال کلیه ضرایب  $(CRR_{final})$  ب) نسبت تنش برشی تناوبی ناشی از زلزله CSR پ) ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی..... ۹۲
- شکل ۴-۸. شبکه‌ی المانهای ایجاد شده پی آبرفتی در نرم افزار FLAC..... ۹۵
- شکل ۴-۹. عمقهای مورد نظر برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی در شبکه‌ی پی آبرفتی..... ۹۶
- شکل ۴-۱۰. مقایسه ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی در عمق ۱۵ متری به سه روش ارائه شده تحت زلزله DBL  $(N_1)_{60} = 8$ ..... ۹۸
- شکل ۴-۱۱. مقایسه ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی در عمق ۱۵ متری به سه روش ارائه شده تحت زلزله MDL  $(N_1)_{60} = 8$ ..... ۹۹
- شکل ۴-۱۲. مقایسه ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی در عمق ۱۵ متری به سه روش ارائه شده تحت زلزله MCL..... ۱۰۰

- ۹۹.....( $N_1$ )<sub>60</sub> = 8)
- شکل ۴-۱۳. کانتورهای ضریب اطمینان در  $(N_1)_{60} = 8$  در سطوح زلزله DBL، MDL و MCL..... ۱۰۱
- شکل ۴-۱۴. کانتورهای ضریب اطمینان در  $(N_1)_{60} = 15$  در سطوح زلزله DBL، MDL و MCL..... ۱۰۲
- شکل ۴-۱۵. کانتورهای ضریب اطمینان در  $(N_1)_{60} = 25$  در سطوح زلزله DBL، MDL و MCL..... ۱۰۳
- شکل ۴-۱۶. ضرایب اطمینان پس از ساخت سد با استفاده از سه روش تحت زلزله DBL در حالت..... ۱۰۶
- شکل ۴-۱۷. ضرایب اطمینان پس از ساخت سد با استفاده از سه روش تحت زلزله MDL در حالت  $(N_1)_{60} = 8$ ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۱۸. ضرایب اطمینان پس از ساخت سد با استفاده از سه روش تحت زلزله MCL در حالت  $(N_1)_{60} = 8$ ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۱۹. ضرایب اطمینان پس از ساخت سد با استفاده از سه روش تحت زلزله DBL در حالت  $(N_1)_{60} = 15$ ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۲۰. ضرایب اطمینان پس از ساخت سد با استفاده از سه روش تحت زلزله MDL در حالت  $(N_1)_{60} = 15$ ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۲۱. ضرایب اطمینان پس از ساخت سد با استفاده از سه روش تحت زلزله MCL در حالت  $(N_1)_{60} = 15$ ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۲۲. ضرایب اطمینان پس از ساخت سد با استفاده از سه روش تحت زلزله DBL در حالت  $(N_1)_{60} = 25$ ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۲۳. ضرایب اطمینان پس از ساخت سد با استفاده از سه روش تحت زلزله MDL در حالت  $(N_1)_{60} = 25$ ..... ۱۱۳
- شکل ۴-۲۴. ضرایب اطمینان پس از ساخت سد با استفاده از سه روش تحت زلزله MCL در حالت  $(N_1)_{60} = 25$ ..... ۱۱۴
- شکل ۴-۲۵. کانتورهای الف) کرنش حجمی ایجاد شده در پی آبرفتی ب) اعداد نفوذ استاندارد بعد از اصلاح دانسیته برای  $(N_1)_{60} = 15$  تحت زلزله DBL..... ۱۱۸
- شکل ۴-۲۶. ضرایب اطمینان در شرایط پایان ساخت پس از اصلاح دانسیته در حالت  $(N_1)_{60} = 8$ ..... ۱۲۰
- شکل ۴-۲۷. ضرایب اطمینان در شرایط پایان ساخت پس از اصلاح دانسیته در حالت  $(N_1)_{60} = 15$ ..... ۱۲۱
- شکل ۴-۲۸. ضرایب اطمینان در شرایط پایان ساخت پس از اصلاح دانسیته در حالت  $(N_1)_{60} = 25$ ..... ۱۲۲
- شکل ۴-۲۹. ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی در شرایط آبیگری و در حالت  $(N_1)_{60} = 8$ ..... ۱۲۴

- شکل ۴-۳۰. ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی در شرایط آبیگری و در حالت  $(N_1)_{60} = 15$  ..... ۱۲۵
- شکل ۴-۳۱. ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی در شرایط آبیگری و در حالت  $(N_1)_{60} = 25$  ..... ۱۲۶
- شکل ۴-۳۲. ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی در شرایط آبیگری با اصلاح دانسیته و در حالت  $(N_1)_{60} = 8$  ..... ۱۲۸
- شکل ۴-۳۳. ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی در شرایط آبیگری با اصلاح دانسیته و در حالت  $(N_1)_{60} = 15$  ..... ۱۲۹
- شکل ۴-۳۴. ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی در شرایط آبیگری با اصلاح دانسیته و در حالت  $(N_1)_{60} = 25$  ..... ۱۳۰
- شکل ۴-۳۵. کانتورهای ضریب اطمینان در حالت  $(N_1)_{60} = 8$  و تحت زلزله DBL ..... ۱۳۲
- شکل ۴-۳۶. کانتورهای ضریب اطمینان در حالت  $(N_1)_{60} = 15$  و تحت زلزله DBL ..... ۱۳۳
- شکل ۴-۳۷. کانتورهای ضریب اطمینان در حالت  $(N_1)_{60} = 25$  و تحت زلزله DBL ..... ۱۳۴
- شکل ۴-۳۸. اعداد نفوذ استاندارد  $N_{60}$  و  $(N_1)_{60}$  در پروفیل به موازات محور رودخانه ..... ۱۳۶
- شکل ۴-۳۹. ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی در پی آبرفتی سد سیمینه رود (قبل از ساخت سازه سد) و در سطوح مختلف لرزه‌ای ..... ۱۳۸
- شکل ۴-۴۰. کانتورهای ضریب اطمینان در برابر روانگرایی سد سیمینه رود تحت سطح زلزله DBL ..... ۱۴۰
- شکل ۴-۴۱. کانتورهای ضریب اطمینان در برابر روانگرایی سد سیمینه رود تحت سطح زلزله MDL ..... ۱۴۲
- شکل ۴-۴۲. کانتورهای ضریب اطمینان در برابر روانگرایی سد سیمینه رود تحت سطح زلزله MDL ..... ۱۴۴
- شکل ۴-۴۳. کانتورهای ضریب اطمینان در برابر روانگرایی سد سیمینه رود در شرایط آبیگری تحت زلزله DBL ..... ۱۴۶
- شکل ۴-۴۴. کانتورهای ضریب اطمینان در برابر روانگرایی سد سیمینه رود در شرایط آبیگری تحت زلزله MDL ..... ۱۴۸
- شکل ۴-۴۵. کانتورهای ضریب اطمینان در برابر روانگرایی سد سیمینه رود در شرایط آبیگری تحت زلزله MCL ..... ۱۵۰
- شکل ۴-۴۶. ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی در سطح زلزله DBL در عمق الف (۵ متری ب) ۱۵ متری ..... ۱۵۲
- شکل ۴-۴۷. ضرایب اطمینان در برابر روانگرایی در سطح زلزله MCL در عمق الف (۵ متری ب) ۱۵ متری ..... ۱۵۳
- شکل ۵-۱. تغییرات کرنش حجمی در برابر کرنش برشی بر اساس مدل بایرن (۱۹۹۱) ..... ۱۵۵



- شکل ۵-۲. تغییرات نرخ کرنش حجمی در برابر کرنش برشی بر اساس مدل بایرن (۱۹۹۱)..... ۱۵۶
- شکل ۵-۳. نقاط مورد نظر جهت بررسی افزایش فشار آب حفره‌ای و کاهش تنش مؤثر در پی آبرفتی..... ۱۵۷
- شکل ۵-۴. مقادیر ماکزیمم نسبت فشار آب حفره‌ای در شرایط الف) آبرفت طبیعی ب) پایان ساخت در حالت  $(N_1)_{60} = 8$  تحت زلزله DBL..... ۱۵۹
- شکل ۵-۵. نمودار کاهش تنش مؤثر میانگین در شرایط الف) آبرفت طبیعی ب) پایان ساخت سد در نقاط A و B تحت زلزله DBL در حالت  $(N_1)_{60} = 8$ ..... ۱۶۰
- شکل ۵-۶. نمودار افزایش فشار آب حفره‌ای در شرایط الف) آبرفت طبیعی ب) پایان ساخت سد در نقاط A و B تحت زلزله DBL در حالت  $(N_1)_{60} = 8$ ..... ۱۶۱
- شکل ۵-۷. مقادیر ماکزیمم  $(r_u)$  در شرایط الف) پایان ساخت با و بدون اصلاح دانسیته ب) آبیگری با و بدون اصلاح دانسیته در حالت  $(N_1)_{60} = 8$  در عمق ۱۵ متری تحت زلزله DBL..... ۱۶۲
- شکل ۵-۸. مقادیر ماکزیمم نسبت فشار آب حفره‌ای در شرایط الف) آبرفت طبیعی ب) پایان ساخت در حالت  $(N_1)_{60} = 15$  تحت زلزله DBL..... ۱۶۵
- شکل ۵-۹. نمودار کاهش تنش مؤثر میانگین در شرایط الف) آبرفت طبیعی ب) پایان ساخت سد در نقاط A و B تحت زلزله DBL در حالت  $(N_1)_{60} = 15$ ..... ۱۶۶
- شکل ۵-۱۰. نمودار افزایش فشار آب حفره‌ای در شرایط الف) آبرفت طبیعی ب) پایان ساخت سد در نقاط A و B تحت زلزله DBL در حالت  $(N_1)_{60} = 15$ ..... ۱۶۷
- شکل ۵-۱۱. مقادیر ماکزیمم  $(r_u)$  در شرایط الف) پایان ساخت با و بدون اصلاح دانسیته ب) آبیگری با و بدون اصلاح دانسیته در حالت  $(N_1)_{60} = 8$  در عمق ۱۵ متری تحت زلزله DBL..... ۱۶۸
- شکل ۵-۱۲. مقادیر ماکزیمم نسبت فشار آب حفره‌ای در شرایط الف) آبرفت طبیعی ب) پایان ساخت در حالت  $(N_1)_{60} = 25$  تحت زلزله DBL..... ۱۷۱
- شکل ۵-۱۳. نمودار کاهش تنش مؤثر میانگین در شرایط الف) آبرفت طبیعی ب) پایان ساخت سد در نقاط A و B تحت زلزله DBL در حالت  $(N_1)_{60} = 25$ ..... ۱۷۲
- شکل ۵-۱۴. افزایش فشار آب حفره‌ای در شرایط الف) آبرفت طبیعی ب) پایان ساخت سد در نقاط A و B تحت زلزله DBL در حالت  $(N_1)_{60} = 25$ ..... ۱۷۳

شکل ۵-۱۵. مقادیر ماکزیمم ( $\Gamma_u$ ) در شرایط الف) پایان ساخت با و بدون اصلاح دانسیته ب) آبیگری با و بدون اصلاح دانسیته در حالت  $(N_1)_{60} = 25$  در عمق ۱۵ متری تحت زلزله DBL..... ۱۷۴

شکل ۵-۱۶. ضرایب  $C_1$  و  $C_2$  اختصاص یافته به پی آبرفتی سد سیمینه رود در مدل بایرن (۱۹۹۱)..... ۱۷۶

شکل ۵-۱۷. مقادیر  $\Gamma_u$  در پی سد سیمینه رود در شرایط الف) آبرفت طبیعی ب) پایان ساخت بدون اصلاح دانسیته ب) پایان ساخت با اصلاح دانسیته..... ۱۷۸

شکل ۵-۱۸. مقادیر  $\Gamma_u$  در پی سد سیمینه رود در شرایط الف) آبرفت طبیعی ب) آبیگری بدون اصلاح دانسیته ب) آبیگری با اصلاح دانسیته..... ۱۷۹

شکل ۵-۱۹. مقادیر ماکزیمم ( $\Gamma_u$ ) در پی آبرفتی سد سیمینه رود در شرایط الف) پایان ساخت با و بدون اصلاح دانسیته ب) آبیگری با و بدون اصلاح دانسیته در عمق ۱۵ متری تحت زلزله DBL..... ۱۸۰

شکل ۵-۲۰. مقادیر ماکزیمم ( $\Gamma_u$ ) در پی آبرفتی سد سیمینه رود در شرایط الف) پایان ساخت با و بدون اصلاح دانسیته ب) آبیگری با و بدون اصلاح دانسیته در عمق ۷/۵ متری تحت زلزله DBL..... ۱۸۱

شکل ۵-۲۱. مقادیر ماکزیمم نسبت فشار آب حفره ای  $\Gamma_u$  در پی آبرفتی سد سیمینه رود تحت زلزله DBL با شتابهای الف)  $0.12g$  ب)  $0.13g$  پ)  $0.14g$ ..... ۱۸۳

شکل ۵-۲۲. تاریخچه شتاب قائم وارده بر پی آبرفتی..... ۱۸۴

شکل ۵-۲۳. نتایج مقادیر نسبت فشار آب حفره ای ماکزیمم تحت اثر الف) زلزله افقی ب) زلزله قائم، (MDL)..... ۱۸۵

شکل ۵-۲۴. مقادیر نسبت فشار آب حفره ای ماکزیمم تحت اثر زلزله افقی MDL در مدول بالکهای برابر با الف)  $2e5$  ب)  $2e8$ ..... ۱۸۷

## فهرست جداول:

- جدول ۲-۱. فاکتورهای مؤثر در مقاومت دینامیکی نفوذگرها در خاکهای دانهای ..... ۲۵
- جدول ۲-۲. ضرایب اصلاحی مربوط به عدد نفوذ استاندارد SPT [یاد و همکاران ۲۰۰۱] ..... ۳۷
- جدول ۲-۳. فاکتورهای مقیاس بزرگی ارائه شده توسط محققین مختلف (یاد و نوبل ۱۹۹۷) ..... ۴۲
- جدول ۲-۴. تأثیر پارامتر  $Q$  بر مقادیر  $K_\alpha$  ..... ۴۹
- جدول ۳-۱. روند آزمایش برای اندازه گیری مشخصات میرایی و مدول (سید و ادريس، ۱۹۷۰) ..... ۶۴
- جدول ۴-۱. پارامترهای مورد استفاده در پی آبرفتی و دیوار آب بند، [گزارش مهتاب قدس] ..... ۸۱
- جدول ۴-۲. پارامترهای مورد استفاده در بدنه سد سیمینه رود، [گزارش مهتاب قدس] ..... ۸۱
- جدول ۴-۳. مدول برشی حداکثر برای بدنه سد ..... ۸۳
- جدول ۴-۴. ضرایب و پارامترهای مورد محاسبه در عمقهای مختلف در  $(N_1)_{60} = 8$  ..... ۹۶
- جدول ۴-۵. ضرایب و پارامترهای مورد محاسبه در عمقهای مختلف در  $(N_1)_{60} = 15$  ..... ۹۷
- جدول ۴-۶. ضرایب و پارامترهای مورد محاسبه در عمقهای مختلف در  $(N_1)_{60} = 25$  ..... ۹۷

# فصل اوّل

مقدمه