

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.



دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران
گرایش مهندسی زلزله

ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از روش طبقه‌بندی فازی

استاد راهنما:

دکتر ایمان عشایری

استاد مشاور:

دکتر مهنوش بیگلری

نگارش:

وحید ویسی نژاد

اسفند ماه ۱۳۹۳

پاس خدای راکه سخوران، در ستودن او بماند و شمارندگان، شمردن نعمت های او نداند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.
سلام و درود بی پایان بر پیامبر صلح و دوستی محمد مصطفی و خاندان پاک و یاران باوفایش.

بر پایان رسیدن پژوهش حاضر پس از لطف و عنایت خدای بزرگ، مرهون یارای عزیزانی است که سخاوت مندانه بذرعنایت
برفشانند ذکر نامشان رانه جبران زحمات بی دینشان، بلکه اظهار مراتب قدرشناسی از آن بزرگواران، بر خود واجب می دانم.
پاس و قدردانی فراوان نثار:

استاد فرزانه و اندیشمند جناب آقای دکتر ایمان عشایری و سرکار خانم دکتر منوش بیگمیری که در کمال سع صدر، با حسن خلق و
فروتنی، از هیچ کجی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند.

استاد فاضل جناب آقای دکتر حسن شرفی و جناب آقای دکتر محمد حاجی عزیزی که زحمت داوری این پایان نامه را متقبل
شدند.

استاد کرامی گروه مهندسی عمران آقایان: دکتر رضا آقاییاری، دکتر محمد شریفی پور و دکتر حمید توپچی نژاد به پاس آموخته هایم از این
بزرگواران.

و برادر عزیزم مهندس امید ویسی نژاد و خواهر کراتقدرم مهندس آرزو ویسی نژاد که وجودشان مایه دلگرمی من می باشد.

همچنین بر خود لازم می دانم از هم فکری و همکاری دوستان کرامی، آقایان مهندس بهروز فرجی، مهندس روح اله فاطمی کیا، دکتر
میلاذفرمانی فرد، مهندس علی قاجی و خانم مهندس شیدا ویسی تشکر نمایم.

تقدیم به :

مقدس‌ترین واژه‌ها در لغت نامه دلم،

مادر مهربانم که زندگیم را دیدیون مهر و دعای‌های اومی دانم .

پدرم، مهربانی مشفق، بر دبار و حامی .

برادر و خواهرم، همراهان، همسگی و پشتوانه‌های زندگیم .

تقدیم به :

دایی‌های کرامی و بزرگوارم که، همواره مشوق و پایه دلگرمی در زندگی ام بوده‌اند.

تقدیم به :

او که آموخت مرا تا بیا موزم، استاد کرامی جناب آقای دکتر ایمان عشایری

چکیده:

در طی یک تکان قوی زلزله، نهشته ماسه شل اشباع شده تمایل به فشرده شدن خواهد داشت با افزایش نوسان، فشار آب منفذی تا مقدار فشار سربار افزایش می‌یابد و ماسه استحکام برشی نخواهد داشت که در این حالت ماسه روان شده و این پدیده روانگرایی نامیده می‌شود. این پدیده یکی از مهم‌ترین مخاطرات و دلیل اصلی بیشتر آسیب‌های سازه‌ای در طول زلزله می‌باشد، که مسبب خسارات بسیاری در زلزله‌های گذشته در سراسر جهان و کشورمان بوده است. در زلزله‌های قوی اخیر از قبیل آلاسکا (۱۹۶۴)، نیگاتا (۱۹۶۴)، تانگشان (۱۹۷۹)، لوماپریتا (۱۹۸۹)، ایران (۱۹۹۰)، ژاپن (۱۹۹۵)، ترکیه (۱۹۹۹)، تایوان (۱۹۹۹)، ایران (۲۰۰۴)، چین (۲۰۰۸) بیشتر ساختمان‌ها، بزرگراه‌ها، سدهای خاکی، شریان‌های حیاتی و سایر سازه‌های مهندسی آسیب دیدند و یا ویران شدند که از نتایج روانگرایی بوده است. به همین دلیل ارزیابی وقوع روانگرایی در مناطق لرزه‌خیز ضروری است. دانشمندان مطالعات گسترده‌ای در این زمینه انجام داده‌اند و روش‌های زیادی برای پیش‌بینی وقوع روانگرایی پیشنهاد کردند. در ابتدا آزمایش‌های میدانی و سپس روش‌های مختلف تجربی و محاسباتی در برآورد وقوع روانگرایی مبتنی بر مشاهدات میدانی و آزمایشگاهی ارائه شده است. در دو دهه اخیر استفاده از سیستم‌های هوشمند به دلیل اینکه این سیستم‌ها قابلیت کاهش زمان محاسبات، آموزش دیدن، دسته‌بندی کردن داده‌ها، پردازش موازی داده‌ها را دارا می‌باشند، در بسیاری از مسائل مهندسی زلزله از جمله در ارزیابی پتانسل روانگرایی در حال توسعه است. در این تحقیق استفاده از روش طبقه‌بندی فازی برای اولین بار در ارزیابی پتانسیل روانگرایی مورد بررسی قرار می‌گیرد که این روش، روشی کاملاً جدید می‌باشد. طبقه‌بندی از ابزارهای متداول داده‌کاوی بوده و به استخراج خوشه‌هایی با حداکثر شباهت بین عناصر داخل دسته و حداقل شباهت با عناصر سایر دسته‌ها می‌پردازد. در طبقه‌بندی فازی، یک تفکیک فازی صورت می‌گیرد به این معنی که هر داده با یک درجه تعلق به هر خوشه متعلق است. پایگاه داده مورد استفاده در این تحقیق مشتمل بر ۷۰۵ مورد داده میدانی می‌باشد که برای انجام محاسبات، این پایگاه داده براساس درصد ریزدانه به سه پایگاه داده (۰-۱۵٪)، (۰-۳۵٪) و (۰-۱۰۰٪) تفکیک شده است. همچنین محاسبات این روش توسط نرم‌افزار PILA انجام می‌شود، پارامترهای ورودی این روش دو پارامتر عدد نفوذ استاندارد اصلاح شده به ماسه تمیز $(N_1)_{60cs}$ و نسبت تنش تناوبی معادل CSR_{eq} می‌باشند. در این تحقیق به تحلیل روانگرایی نمونه‌ها (LS) برای تعداد خوشه‌های مختلف و همچنین به برآورد تمایل روانگرایی مراکز خوشه‌ها LT_c پرداخته می‌شود. تعداد خوشه بهینه تعیین می‌گردد. و نهایتاً مقادیر LS به دست آمده از تعداد خوشه بهینه با روش احتمال روانگرایی ستین و همکاران [۲۰] نسبت به مقادیر واقعی روانگرایی داده‌ها مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

کلید واژه‌ها: روانگرایی خاک، سیستم هوشمند، طبقه‌بندی فازی، عدد نفوذ استاندارد، نسبت تنش تناوبی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- پدیده روانگرایی
۳	۲-۱- عوامل مؤثر بر روانگرایی
۴	۳-۱- اثرات روانگرایی
۴	۱-۳-۱- گسترش جانبی
۵	۲-۳-۱- گسیختگیهای جریانی
۶	۳-۳-۱- ازبین رفتن ظرفیت باربری
۷	۴-۱- بیان مسئله
۸	۵-۱- ضرورت انجام تحقیق
۸	۶-۱- اهداف تحقیق
۱۰	فصل دوم: مرور ادبیات فنی
۱۱	۱-۲- مقدمه
۱۲	۲-۲- روشهای تجربی

۱۲	..... سیستم‌های هوشمند..... ۳-۲-۳
۱۳	..... اولین مقاله..... ۱-۳-۲
۱۶	..... دومین مقاله..... ۲-۳-۲
۱۸	..... سومین مقاله..... ۳-۳-۲
۱۸	..... مدل روانگرایی لرزه‌ای با استفاده از (PNN)..... ۱-۳-۳-۲
۱۹	..... چهارمین مقاله..... ۴-۳-۲
۲۱	..... پنجمین مقاله..... ۵-۳-۲
۲۳	..... ششمین مقاله..... ۶-۳-۲
۲۵	..... هفتمین مقاله..... ۷-۳-۲
۲۵	..... برنامه نویسی بیان ژنتیک..... ۱-۷-۳-۲
۲۶	..... الگوی محاسبات عصبی-فازی تطبیقی..... ۲-۷-۳-۲
۲۸	..... هشتمین مقاله..... ۸-۳-۲
۲۹	..... مقایسه روشها..... ۹-۳-۲
۳۵	..... بررسی نقاط ضعف و قدرت روشها..... ۱۰-۳-۲
۳۶	..... جمع‌بندی..... ۴-۲
۳۸	..... فصل سوم: معرفی روش و پایگاه داده.....
۳۹	..... مقدمه..... ۱-۳
۳۹	..... روش خوشه‌بندی فازی..... ۲-۳

۳۹	..... ۱-۲-۳- تعریف خوشه‌بندی
۴۰	..... ۲-۲-۳- هدف خوشه‌بندی
۴۰	..... ۳-۲-۳- خوشه بندی فازی
۴۳	..... ۴-۲-۳- الگوریتم خوشه‌بندی میانگین مرکزی
۴۵	..... ۵-۲-۳- ارزیابی پتانسیل روانگرایی به روش خوشه‌بندی فازی
۴۶	..... ۱-۵-۲-۳- برآورد تمایل روانگرایی مراکز خوشه‌ها
۴۷	..... ۲-۵-۲-۳- محاسبه روانگرایی نمونه‌ها
۴۷	..... ۳-۳- جمع‌آوری پایگاه داده
۵۰	..... ۴-۳- معرفی و نحوه کارکرد نرم‌افزار PILA
۵۱	..... ۵-۳- جمع‌بندی
۵۳	..... فصل چهارم: تحلیل و تفسیر داده‌ها
۵۴	..... ۱-۴- مقدمه
۵۴	..... ۲-۴- دسته‌بندی داده‌ها
۵۷	..... ۳-۴- محاسبه روانگرایی نمونه‌ها(Ls)
۵۷	..... ۱-۴-۳- محاسبه Ls پایگاه داده (۰-۱۵)
۶۰	..... ۲-۴-۳- محاسبه Ls پایگاه داده (۰-۳۵)
۶۲	..... ۳-۴-۳- محاسبه Ls پایگاه داده (۰-۱۰۰)
۶۵	..... ۴-۴-۳- تحلیل نمودارها

۶۶	..... میانگین $(N_1)_{60cs}$ مقادیر حداکثری L_S خوشه‌ها.
۷۰	..... محاسبه مختصات مراکز خوشه‌ها و تمایل به روانگرایی آنها.
۷۱	..... محاسبه مختصات مراکز.
۷۱	..... مراکز پایگاه داده (۰-۱۵).
۷۴	..... مراکز پایگاه داده (۰-۳۵).
۷۷	..... مراکز پایگاه داده (۰-۱۰۰).
۸۰	..... محاسبه تمایل به روانگرایی مراکز LT_c .
۸۰	..... محاسبه LT_c پایگاه داده (۰-۱۵).
۸۳	..... محاسبه LT_c پایگاه داده (۰-۳۵).
۸۵	..... محاسبه LT_c پایگاه داده (۰-۱۰۰).
۸۷	..... تعداد خوشه بهینه.
۸۸	..... تعداد خوشه بهینه پایگاه داده (۰-۱۵).
۸۹	..... تعداد خوشه بهینه پایگاه داده (۰-۳۵).
۹۰	..... تعداد خوشه بهینه پایگاه داده (۰-۱۰۰).
۹۱	..... مقایسه FCM با روش احتمالاتی.
۹۲	..... برآورد L_S و P_L برای پایگاه داده (۰-۱۵).
۱۰۲	..... برآورد L_S و P_L برای پایگاه داده (۰-۳۵).
۱۱۱	..... برآورد L_S و P_L برای پایگاه داده (۰-۱۰۰).
۱۲۰	..... فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات.

۱۲۱	..... ۱-۵- نتایج
۱۲۴	..... ۲-۵- پیشنهادات
۱۲۵	..... فصل ششم: مراجع
۱۲۶	..... ۱-۶- مراجع
۱۲۹	..... ضمیمه

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	..... شکل ۱-۱ نحوه شکل‌گیری پدیده روانگرایی
۵	..... شکل ۲-۱ گسترش جانبی زمین
۵	..... شکل ۳-۱ گسترش جانبی زمین
۶	..... شکل ۴-۱ گسیختگی جریان‌ی

۷	..... شکل ۱-۵ کج شدگی - زلزله نیگاتا
۷	..... شکل ۱-۶ کج شدگی - کوکالی
۱۴	..... شکل ۲-۱ معماری اولیه شبکه عصبی
۱۷	..... شکل ۲-۲ اهمیت نسبی پارامترهای ورودی
۲۱	..... شکل ۲-۳ اهمیت نسبی پارامترهای ورودی
۲۵	..... شکل ۲-۴. نتایج ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از GRNN
۲۶	..... شکل ۲-۵ طرح شماتیک کروموزوم و درخت بیان
۲۷	..... شکل ۲-۶ معماری ساده ANFIS
۴۱	..... شکل ۱-۱. مجموعه داده پروانه‌ای
۴۲	..... شکل ۳-۲. خوشه‌بندی فازی داده
۵۶	..... شکل ۴-۱- نمودار دسته‌بندی پایگاه داده (۰-۱۵)
۵۶	..... شکل ۴-۲- نمودار دسته‌بندی پایگاه داده (۰-۳۵)
۵۷	..... شکل ۴-۳- نمودار دسته‌بندی پایگاه داده (۰-۱۰۰)
۵۸	..... شکل ۴-۴ (الف-ت) نمودارهای Ls در CSRهای ثابت برای پایگاه داده (۰-۱۵)
۵۹	..... شکل ۴-۴ (ج-خ) نمودارهای Ls در CSRهای ثابت برای پایگاه داده (۰-۱۵)
۶۰	..... شکل ۴-۵ (الف-ب) نمودارهای Ls در CSRهای ثابت برای پایگاه داده (۰-۳۵)
۶۱	..... شکل ۴-۵ (پ-چ) نمودارهای Ls در CSRهای ثابت برای پایگاه داده (۰-۳۵)
۶۲	..... شکل ۴-۵ (ح-خ) نمودارهای Ls در CSRهای ثابت برای پایگاه داده (۰-۳۵)
۶۳	..... شکل ۴-۶ (الف-ت) نمودارهای Ls در CSRهای ثابت برای پایگاه داده (۰-۱۰۰)

- شکل ۴-۶ (ج-خ) نمودارهای L_s در CSRهای ثابت برای پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۶۴
- شکل ۴-۷- میانگین \pm انحراف معیار متناظر با L_s های max پایگاه داده (۰-۱۵)..... ۶۷
- شکل ۴-۸- میانگین \pm انحراف معیار متناظر با L_s های max پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۶۸
- شکل ۴-۹- میانگین \pm انحراف معیار متناظر با L_s های max پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۶۹
- شکل ۴-۱۰- الف- نمودار مراکز ۱۵ خوشه پایگاه داده (۰-۱۵)..... ۷۱
- شکل ۴-۱۰- (ب و پ) نمودار مراکز ۳۰، ۵۰ خوشه پایگاه داده (۰-۱۵)..... ۷۲
- شکل ۴-۱۰- ت - نمودار مراکز ۷۵ خوشه پایگاه داده (۰-۱۵)..... ۷۳
- شکل ۴-۱۱- نمودار کلی مراکز خوشه‌ها برای پایگاه داده (۰-۱۵)..... ۷۳
- شکل ۴-۱۲- الف- نمودار مراکز ۱۵ خوشه برای پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۷۴
- شکل ۴-۱۲- (ب و پ) نمودار مراکز ۳۰، ۵۰ خوشه برای پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۷۵
- شکل ۴-۱۲- ت- نمودار مراکز تعداد ۷۵ خوشه برای پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۷۶
- شکل ۴-۱۳- نمودار کلی مراکز خوشه‌ها برای پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۷۶
- شکل ۴-۱۴- الف- نمودار مراکز ۱۵ خوشه برای پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۷۷
- شکل ۴-۱۴- (ب و پ) نمودار مراکز ۳۰، ۵۰ خوشه برای پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۷۸
- شکل ۴-۱۴- ت- نمودار مراکز ۷۵ خوشه برای پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۷۹
- شکل ۴-۱۵- نمودار کلی مراکز خوشه‌ها برای پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۷۹
- شکل ۴-۱۶- (الف-ب) نمودار مقادیر LT_c همراه CRR برای پایگاه داده (۰-۱۵)..... ۸۱
- شکل ۴-۱۶- (پ-ت) نمودار مقادیر LT_c همراه CRR برای پایگاه داده (۰-۱۵)..... ۸۲
- شکل ۴-۱۷- (الف-ب) نمودار مقادیر LT_c همراه CRR برای پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۸۳

- شکل ۴-۱۷- (پ-ت) نمودار مقادیر LT_c همراه CRR برای پایگاه داده (۰-۳۵) ۸۴
- شکل ۴-۱۸- (الف-ب) نمودار مقادیر LT_c همراه CRR برای پایگاه داده (۰-۱۰۰) ۸۵
- شکل ۴-۱۸- (پ-ت) نمودار مقادیر LT_c همراه CRR برای پایگاه داده (۰-۱۰۰) ۸۶
- شکل ۴-۱۹- نمودار مقادیر P_L و L_S با توان وزنی ۲ پایگاه داده (۰-۱۵) ۹۲
- شکل ۴-۲۰- نمودار مقادیر P_L و L_S با توان وزنی ۱,۵ پایگاه داده (۰-۱۵) ۹۳
- شکل ۴-۲۱- نمودار مقایسه P_L و L_S ($m=2$) پایگاه داده (۰-۱۵) ۹۴
- شکل ۴-۲۲- نمودار مقایسه P_L و L_S ($m=1.5$) پایگاه داده (۰-۱۵) ۹۴
- شکل ۴-۲۳- نمودار $FCM(m=2)$ برای عدم رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۵) ۹۶
- شکل ۴-۲۴- نمودار احتمال روانگرایی برای عدم رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۵) ۹۶
- شکل ۴-۲۵- مقایسه P_L و L_S ($m=2$) در عدم رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۵) ۹۸
- شکل ۴-۲۶- مقایسه P_L و L_S ($m=1.5$) در عدم رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۵) ۹۸
- شکل ۴-۲۷- نمودار $FCM(m=2)$ برای رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۵) ۹۹
- شکل ۴-۲۸- نمودار احتمال روانگرایی برای رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۵) ۱۰۰
- شکل ۴-۲۹- مقایسه P_L و L_S ($m=2$) در رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۵) ۱۰۱
- شکل ۴-۳۰- مقایسه P_L و L_S ($m=1.5$) در رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۵) ۱۰۱
- شکل ۴-۳۱- نمودار مقادیر P_L و L_S با توان وزنی ۲ پایگاه داده (۰-۳۵) ۱۰۲
- شکل ۴-۳۲- نمودار مقادیر P_L و L_S با توان وزنی ۱,۵ پایگاه داده (۰-۳۵) ۱۰۳
- شکل ۴-۳۳- نمودار مقایسه P_L و L_S ($m=2$) پایگاه داده (۰-۳۵) ۱۰۴
- شکل ۴-۳۴- نمودار مقایسه P_L و L_S ($m=1.5$) پایگاه داده (۰-۳۵) ۱۰۴

- شکل ۴-۳۵- نمودار $FCM(m=2)$ برای عدم رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۶- نمودار احتمال روانگرایی برای عدم رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۷- مقایسه P_L و L_S ($m=2$) در عدم رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۱۰۷
- شکل ۴-۳۸- مقایسه P_L و L_S ($m=1.5$) در عدم رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۱۰۷
- شکل ۴-۳۹- نمودار $FCM(m=2)$ برای رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۱۰۸
- شکل ۴-۴۰- نمودار احتمال روانگرایی برای رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۱۰۹
- شکل ۴-۴۱- مقایسه P_L و L_S ($m=2$) در رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۱۱۰
- شکل ۴-۴۲- مقایسه P_L و L_S ($m=1.5$) در رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۱۱۰
- شکل ۴-۴۳- نمودار مقادیر P_L و L_S با توان وزنی ۲ پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۱۲
- شکل ۴-۴۴- نمودار مقادیر P_L و L_S با توان وزنی ۱,۵ پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۱۲
- شکل ۴-۴۵- نمودار مقایسه P_L و L_S ($m=2$) پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۱۳
- شکل ۴-۴۶- نمودار مقایسه P_L و L_S ($m=1.5$) پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۱۴
- شکل ۴-۴۷- نمودار $FCM(m=2)$ برای عدم رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۱۵
- شکل ۴-۴۸- نمودار احتمال روانگرایی برای عدم رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۱۵
- شکل ۴-۴۹- مقایسه P_L و L_S ($m=2$) در عدم رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۱۶
- شکل ۴-۵۰- مقایسه P_L و L_S ($m=1.5$) در عدم رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۱۷
- شکل ۴-۵۱- نمودار $FCM(m=2)$ برای رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۱۸
- شکل ۴-۵۲- نمودار احتمال روانگرایی برای رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۱۸
- شکل ۴-۵۳- مقایسه P_L و L_S ($m=2$) در رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۱۹

شکل ۴-۵۴- مقایسه P_L و L_S ($m=1.5$) در رخداد روانگرایی پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۱۹

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۳	جدول ۱-۲ فهرست مقالات مورد مطالعه.....
۳۰	جدول ۲-۲ مقایسه روشهای مختلف و اجزاء تشکیل دهنده آنها (از شماره ۱ تا ۶).....
۳۱	جدول ۳-۲ مقایسه روشهای مختلف و اجزاء تشکیل دهنده آنها (از شماره ۷ تا ۱۳).....
۳۲	ادامه جدول ۳-۲ مقایسه روشهای مختلف و اجزاء تشکیل دهنده آنها
۳۳	ادامه جدول ۳-۲ مقایسه روشهای مختلف و اجزاء تشکیل دهنده آنها
۳۴	جدول ۴-۲ مقایسه روشهای مختلف و اجزاء تشکیل دهنده آنها (از شماره ۱۴ تا ۲۶).....
۳۵	ادامه جدول ۴-۲ مقایسه روشهای مختلف و اجزاء تشکیل دهنده آنها.....
۶۷	جدول ۱-۴- مقادیر $(N_1)_{60cs}$ متناظر با مقادیر حداکثری L_S
۶۷	جدول ۲-۴- مقادیر میانگین \pm انحراف معیار برای CSRهای مختلف
۶۸	جدول ۳-۴- مقادیر $(N_1)_{60cs}$ متناظر با مقادیر حداکثری L_S
۶۸	جدول ۴-۴- مقادیر میانگین \pm انحراف معیار برای CSRهای مختلف
۶۹	جدول ۵-۴- مقادیر $(N_1)_{60cs}$ متناظر با مقادیر حداکثری L_S
۶۹	جدول ۶-۴- مقادیر میانگین \pm انحراف معیار برای CSRهای مختلف

۸۸	جدول ۴-۷- پراکندگی جمعیت تعداد ۱۵ خوشه (۰-۱۵).....
۸۸	جدول ۴-۸- پراکندگی جمعیت تعداد ۳۰ خوشه (۰-۱۵).....
۸۸	جدول ۴-۹- پراکندگی جمعیت تعداد ۵۰ خوشه (۰-۱۵).....
۸۸	جدول ۴-۱۰- پراکندگی جمعیت تعداد ۷۵ خوشه (۰-۱۵).....
۸۹	جدول ۴-۱۱- پراکندگی جمعیت تعداد ۱۵ خوشه (۰-۳۵).....
۸۹	جدول ۴-۱۲- پراکندگی جمعیت تعداد ۳۰ خوشه (۰-۳۵).....
۸۹	جدول ۴-۱۳- پراکندگی جمعیت تعداد ۵۰ خوشه (۰-۳۵).....
۸۹	جدول ۴-۱۴- پراکندگی جمعیت تعداد ۷۵ خوشه (۰-۳۵).....
۹۰	جدول ۴-۱۵- پراکندگی جمعیت تعداد ۱۵ خوشه (۰-۱۰۰).....
۹۰	جدول ۴-۱۶- پراکندگی جمعیت تعداد ۳۰ خوشه (۰-۱۰۰).....
۹۰	جدول ۴-۱۷- پراکندگی جمعیت تعداد ۵۰ خوشه (۰-۱۰۰).....
۹۰	جدول ۴-۱۸- پراکندگی جمعیت تعداد ۷۵ خوشه (۰-۱۰۰).....
۱۳۰	جدول ۶-۱- پایگاه داده (درصد ریزدانه ۰-۱۰۰).....
۱۴۸	جدول ۶-۲- پایگاه داده (درصد ریز دانه ۰- ۳۵).....
۱۵۶	جدول ۶-۳- پایگاه داده (درصد ریزدانه ۰-۱۵).....
۱۵۹	جدول ۶-۴- داده‌های نمونه و مقادیر LS به دست آمده برای آن‌ها.....
۱۶۶	جدول ۶-۵- مختصات و مقادیر روانگرایی مراکز ۷۵ خوشه برای هر سه پایگاه داده.....
۱۶۸	جدول ۶-۶- مختصات و مقادیر روانگرایی مراکز ۵۰ خوشه برای هر سه پایگاه داده.....
۱۶۹	جدول ۶-۷- مختصات و مقادیر روانگرایی مراکز ۳۰ خوشه برای هر سه پایگاه داده.....

- جدول ۶-۸- مخضصاآ و مقادیر روانگرایی مراکز ۱۵ خوشه برای هر سه پایگاه داده..... ۱۶۹
- جدول ۶-۹- داده‌های تفکیک شده برای (روانگرایی صفر) پایگاه داده (۰-۱۵)..... ۱۷۰
- جدول ۶-۱۰- داده‌های تفکیک شده برای (روانگرایی یک) پایگاه داده (۰-۱۵)..... ۱۷۱
- جدول ۶-۱۱- داده‌های تفکیک شده برای (روانگرایی صفر) پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۱۷۲
- جدول ۶-۱۲- داده‌های تفکیک شده برای (روانگرایی یک) پایگاه داده (۰-۳۵)..... ۱۷۴
- جدول ۶-۱۳- داده‌های تفکیک شده برای (روانگرایی صفر) پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۷۵
- جدول ۶-۱۴- داده‌های تفکیک شده برای (روانگرایی یک) پایگاه داده (۰-۱۰۰)..... ۱۸۰

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

۱-۱- پدیده روانگرایی

روان شدن خاک در حین وقوع زلزله منجر به از دست رفتن استحکام یا سختی خاک خواهد شد. این عمل می‌تواند منجر به نشست سازه‌ها، وقوع زمین لغزه‌ها، تسریع گسیختگیهای مربوط به سدهای خاکی یا بروز انواع دیگری از خطرها بشود. مشاهده شده است که روان‌شدگی خاک در نهشته‌هایی از نوع ماسه شل اشباع اتفاق می‌افتد. در طی یک تکان قوی زلزله، نهشته ماسه شل اشباع شده تمایل به فشرده شدن خواهد داشت و لذا حجم آن کاهش می‌یابد. اگر این نهشته نتواند سریعاً آب خود را تخلیه کند، آنگاه فشار آب منفذی افزایش خواهد یافت. تنش مؤثر در نهشته ماسه با تفاضل بین فشار سربار و فشار آب منفذی برابر است (معادله ۱-۱). با افزایش نوسان، فشار آب منفذی می‌تواند تا مقدار فشار سربار افزایش یابد. با توجه به معادلات ۱-۲ و ۱-۳ استحکام برشی هر خاک غیر چسبنده مستقیماً با تنش مؤثر متناسب است، در نتیجه ماسه استحکام (باربری) برشی نخواهد داشت که در این حال ماسه روان می‌شود و این پدیده روانگرایی نامیده می‌شود (معادلات ۱-۴ و ۱-۵). [۱]

$$\sigma' = \sigma - u \quad \text{معادله ۱-۱}$$

$$\tau = \sigma' \tan \varphi' + c' \quad \text{معادله ۲-۱}$$

$$\tau = \sigma' \tan \varphi' , \quad c' = 0 \quad \text{معادله ۳-۱}$$

$$\tau = (\sigma - u) \tan \varphi' \quad \text{معادله ۴-۱}$$

$$u = \sigma \quad \blacktriangleright \quad \tau = 0 \quad \blacktriangleright \quad \text{Liquefaction} \quad \text{معادله ۵-۱}$$