



شرح و درس دینامیک خاک

به همراه تشریح کامل سؤالات کنکور دکتری

ویرایش سوم



مؤلف:

سید محمد شعاری شعار، دانشجوی دکترای ژئوتکنیک
دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران



سرشناسه: شعاری شعار، سیدمحمد، ۱۳۵۹ -
 عنوان و نام پدیدآور: شرح و درس دینامیک خاک به همراه تشریح کامل سوالات کنکور دکتری / مولف سیدمحمد شعاری شعار.
 مشخصات نشر: تهران : نوآور.
 مشخصات ظاهری: ۳۹۶ ص.
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۳۴۳-۵
 وضعیت فهرست نویسی: فیبا
 یادداشت: کتابنامه.
 موضوع: خاک -- دینامیک -- راهنمای آموزشی (عالی)
 موضوع: Soil dynamics -- Study and teaching (Higher
 موضوع: خاک -- دینامیک -- آزمون ها و تمرین ها (عالی)
 موضوع: Examinations, questions, etc. (Higher -- Soil dynamics
 موضوع: دانشگاه ها و مدارس عالی -- ایران -- آزمون ها
 موضوع: Universities and colleges --Iran -- Examinations
 موضوع: آزمون دوره های تحصیلات تکمیلی -- ایران
 موضوع: Iran -- Graduate Record Examination
 رده بندی کنگره: TAY۱۱/ش۷ش۴ ۱۳۹۵
 رده بندی دیویی: ۱۵۱۳۶۰۷۶/۶۳۴
 شماره کتابشناسی ملی: ۴۴۴۸۱۴۰

شرح و درس دینامیک خاک



نشر نوآور

مولف: سید محمد شعاری شعار
 ناشر: نوآور
 شمارگان: ۵۰۰ نسخه
 نوبت چاپ:
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۳۴۳-۵
 قیمت:

مرکز پخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهیدای
 ژاندارمیری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸
 طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲-۶۶۴۸۴۱۹۱، www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و
 مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر
 نوآور می باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل
 هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع
 انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی دی، فیلم فایل صوتی یا
 تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام
 است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

فهرست مطالب

۱۲	مقدمه
۱۵	فصل اول / روانگرایی خاک‌ها
۱۵	تعریف روانگرایی
۱۶	پروسه وقوع روانگرایی
۱۷	عوامل موثر بر روان شدن خاک‌ها
۲۲	بررسی دقیقتر دو پارامتر (اثر سن ماسه و پیش کرنش)
۲۳	خودآزمایی
۲۶	بررسی پتانسیل روانگرایی (براساس آیین‌نامه‌ها)
۲۸	خودآزمایی
۳۱	وقوع روانگرایی و شتاب وارد بر ساختمان
۳۳	خودآزمایی
۳۳	عبور امواج مکانیکی تابع فاصله مولکول‌ها در محیط انتشار
۳۴	آیا رس روانگرا می‌شود؟
۳۶	آیا شن‌ها روانگرا می‌شوند؟
۳۸	رفتار ماسه شل تحت بارگذاری سیکلی با دستگاه سه محوری سیکلی
۳۹	رفتار ماسه شل در آزمایش برش ساده سیکلی
۴۰	رفتار ماسه شل در آزمایش برشی پیچشی سیکلی
۴۱	رفتار ماسه متراکم در آزمایش سه محوری سیکلی
۴۲	رفتار ماسه متراکم در آزمایش برشی پیچشی سیکلی
۴۵	خودآزمایی
۴۷	بررسی‌های آزمایشگاهی به کمک دستگاه سه محوری سیکلی
۵۱	بررسی آزمایشگاهی به کمک دستگاه برش ساده سیکلی
۵۴	رابطه بین نتایج روان شدن از آزمایشات سه محوری و شرایط صحرایی
۵۵	مقایسه تنش‌های سیکلی مولد روانگرایی خاک‌ها در شرایط برش ساده سیکلی و سه محوری سیکلی
۵۶	خودآزمایی
۵۷	مطالعات آزمایشگاهی به کمک میز لرزان جهت بررسی رفتار ماسه شل
۶۰	خودآزمایی

۶۱	..... ضریب اطمینان در برابر روانگرایی
۷۵	..... ضریب اطمینان در برابر روانگرایی به کمک آزمایشهای آزمایشگاهی
۷۷	..... خودآزمایی
۸۳	..... رابطه بین حداکثر شتاب زمین و تراکم نسبی ماسه برای روان شدن خاک
۸۴	..... خودآزمایی
۸۸	..... محو اضافه فشار آب حفره‌ای
۹۰	..... تحکیم پس از روانگرایی
۹۱	..... تاثیر روش‌های آماده سازی نمونه بر مقاومت در برابر روانگرایی در آزمایش‌های برشی آزمایشگاهی
۹۳	..... تاثیر فرکانس بر مقاومت در برابر روانگرایی
۹۵	..... اهمیت بارگذاری دو طرفه در برش سیکلی با تنش استاتیکی اولیه
۹۷	..... خودآزمایی
۹۹	..... روش‌های بهسازی خاک در برابر روانگرایی
۱۰۱	..... فصل دوم / دیوار حائل تحت بار لرزه‌ای
۱۰۱	..... مقدمه‌ای بر دیوارهای حائل تحت اثر بارهای استاتیکی
۱۰۸	..... خودآزمایی
۱۱۰	..... تاثیر زاویه اصطکاک بین خاک و دیوار (δ) بر واژگونی دیوار
۱۱۲	..... گسیختگی خاک پشت دیوار حائل و تاثیر بر فشار جانبی وارد بر دیوار
۱۱۳	..... دیوار حائل با خاک روانگرا شده
۱۱۵	..... خودآزمایی
۱۱۷	..... آشنایی با روش شبه استاتیکی برای اعمال بار زلزله بر دیوار حائل
۱۱۸	..... بررسی دیوار حائل تحت اثر بار لرزه‌ای در حالت محرک
۱۲۰	..... خودآزمایی
۱۲۹	..... عوامل موثر بر ضریب فشار حالت محرک دینامیکی (K_{AE})
۱۳۵	..... خودآزمایی
۱۳۷	..... نقطه اثر نیروی برآیند دینامیکی در حالت محرک (P_{AE})
۱۳۹	..... بررسی سه وضعیت حرکت دیوار با معیار مونونوب - اوکابه به کمک مدلسازی فیزیکی
۱۴۳	..... خودآزمایی



- ۱۴۶ فشار جانبی خاک اشباع تحت اثر بار لرزه‌ای
- ۱۴۷ اصلاح ضریب لرزه‌ای دیوار حائل برای خاک‌های اشباع
- ۱۵۲ خودآزمایی
- ۱۵۴ فشار هیدرو دینامیک آب بر دیوار حائل
- ۱۵۷ خودآزمایی
- ۱۶۱ محاسبه شتاب تسلیم به منظور شروع لغزش دیوارهای حائل
- ۱۶۴ خودآزمایی
- ۱۶۶ فشار جانبی اعمالی به دیوار تحت اثر بار لرزه‌ای در حالت مقاوم
- ۱۶۷ خودآزمایی
- ۱۶۸ تست‌های تکمیلی فصل دیوار حائل تحت اثر بار لرزه‌ای
- فصل سوم / خواص دینامیکی خاک‌ها**
- ۱۷۳ تفاوت شرایط بارگذاری استاتیکی و دینامیکی
- ۱۷۵ مقاومت برشی خاک‌ها تحت شرایط بارگذاری سریع
- ۱۷۸ مقاومت برشی و مدول الاستیسیته خاک‌ها تحت بارگذاری گذرا
- ۱۸۰ خودآزمایی
- ۱۸۱ آزمایش‌های دینامیکی خاک‌ها
- ۲۰۲ خودآزمایی
- ۲۰۶ مدول برشی خاک‌ها و عوامل موثر بر آن‌ها
- ۲۰۹ خودآزمایی
- ۲۱۰ عوامل موثر بر نسبت $\frac{G}{G_{max}}$
- ۲۱۱ تاثیر عوامل موثر بر نسبت میرایی (ζ)
- ۲۱۳ خودآزمایی
- ۲۱۴ روابط محاسباتی برای G_{max}
- ۲۱۵ عوامل موثر بر G_{max}
- ۲۱۷ خودآزمایی
- ۲۱۹ رفتار ماسه‌های اشباع تحت بارهای دینامیکی گذرا

- ۲۲۱..... اثر میزان تنش استاتیکی و تعداد سیکل‌های بار بر مقاومت خاک‌های چسبنده
- ۲۲۷..... خودآزمایی
- فصل چهارم / اثرات ساختگاه**..... ۲۳۱
- ۲۳۱..... اثرات زمین نرم
- ۲۳۳..... تاثیر عمق خاک بر پی‌ود تشدید
- ۲۳۳..... تاثیر تراکم خاک بر رفتار لرزه‌ای
- ۲۳۴..... بررسی پدیده تشدید در مهندسی ژئوتکنیک
- ۲۳۶..... خودآزمایی
- ۲۴۰..... تاثیر خاک نرم واقع بر بستر سنگی بر تقویت شتاب
- ۲۴۱..... خودآزمایی
- ۲۴۲..... اثر ساختگاه بر محتوای فرکانسی حرکت و طیف پاسخ
- ۲۴۳..... اثر توپوگرافی بر پدیده تشدید
- ۲۴۷..... بزرگنمایی ناشی از توپوگرافی
- ۲۴۸..... انتشار امواج در یک میله در آزمایشگاه
- ۲۵۰..... خودآزمایی
- ۲۵۲..... انواع تحلیل دینامیکی پاسخ زمین
- ۲۵۴..... اثر هندسه حوزه آبرفتی بر پدیده تشدید
- ۲۵۶..... اثرات شرایط خاک محلی در ماکسیمم شتاب زلزله
- ۲۵۷..... نتایج ناشی از حرکت زمین در خلال زلزله ۱۹۸۵ مکزیکو
- ۲۵۸..... اثر تپه بر تقویت شتاب زلزله
- ۲۵۹..... تقویت حرکت در بالای تپه
- ۲۵۹..... تاثیرات بزرگنمایی (تقویت) محاسبه شده در توپوگرافی به شکل تپه
- ۲۶۰..... تخمین مدت زمان (**duration**) زلزله
- ۲۶۱..... خودآزمایی
- فصل پنجم / شیب تحت اثر بار لرزه‌ای**..... ۲۶۴
- ۲۶۴..... مقدمه‌ای بر روش شبه استاتیکی

- ۲۶۶..... روش شبه استاتیکی اصلاح شده
- ۲۶۸..... حرکت قائم
- ۲۶۹..... پایداری شیب تحت اثر بار زلزله به کمک روش شبه استاتیکی
- ۲۷۰..... محاسبه ضریب اطمینان شیب تحت اثر بار زلزله
- ۲۷۰..... خودآزمایی
- ۲۷۶..... انتخاب ضریب شبه استاتیکی (k_h)
- ۲۷۷..... پایداری شیب تحت اثر بار لرزه‌ای - بلوک لغزشی نیومارک
- ۲۷۹..... خودآزمایی
- ۲۸۰..... محاسبه ضریب اطمینان با روش نیومارک
- ۲۸۱..... اثر فرکانس بر جابجایی دائمی شیب‌ها
- ۲۸۳..... محاسبه جابجایی دائمی شیب توسط روش نیومارک
- ۲۸۴..... جهت بحرانی اعمال نیروی لرزه‌ای در طراحی
- ۲۸۶..... خودآزمایی
- ۲۹۳..... فصل ششم / تئوری انتشار امواج در محیط الاستیک
- ۲۹۳..... مقدمه
- ۲۹۳..... انتشار موج در یک میله ارتجاعی
- ۲۹۴..... انعکاس امواج در انتهای آزاد یک میله ارتجاعی
- ۲۹۵..... انعکاس امواج در انتهای گیردار یک میله ارتجاعی
- ۲۹۷..... انتشار یک بعدی موج در مرز مشترک مصالح در یک میله نامحدود
- ۲۹۹..... خودآزمایی
- ۳۰۰..... انتشار امواج در محیط ارتجاعی سه بعدی
- ۳۰۲..... انتشار امواج در محیط نیم فضا
- ۳۰۵..... انواع انعکاس و عبور (انکسار) موج بر حسب نوع موج
- ۳۰۶..... خودآزمایی
- ۳۱۰..... انواع میرایی در خاک
- ۳۱۲..... خودآزمایی
- ۳۱۶..... امواج فشاری و برشی در خاک‌های اشباع

۳۱۷.....	انتشار امواج در محیط‌های جامد و مایع.....
۳۱۸.....	تغییرات سرعت موج فشاری و برشی در عمق.....
۳۲۰.....	خودآزمایی.....
فصل هفتم / پی ماشین‌آلات.....	
۳۲۳.....	انواع مختلف ماشین‌آلاتی که نیروهای پربودیک وارد می‌کنند.....
۳۲۴.....	انواع پی ماشین‌آلات.....
۳۲۶.....	ضوابط طراحی شمع به عنوان پی ماشین‌آلات.....
۳۲۸.....	توصیه‌های مهم در طراحی پی ماشین‌آلات.....
۳۳۰.....	درجات آزادی یک پی حجیم.....
۳۳۳.....	ضرایب مربوط به خاک (ضرایب بارکان).....
۳۳۴.....	مقادیر توصیه شده برای C_u برای مساحت ۱۰ متر مربع.....
۳۳۵.....	تغییرات C_u بر حسب فشار همه جانبه و کرنش برشی.....
۳۳۵.....	ارتعاشات قائم بلوک پی.....
۳۳۶.....	ارتعاشات افقی (لغزشی) بلوک پی.....
۳۳۷.....	نکات طراحی پی ماشین‌آلات برای از بین بردن تشدید.....
۳۳۸.....	خودآزمایی.....
۳۴۰.....	تئوری بایوت (انتشار امواج در محیط متخلخل همگن اشباع).....
۳۴۳.....	پرده کشی در برابر ارتعاش.....
۳۴۴.....	عایق سازی محرک به وسیله استفاده از کانال‌های روباز.....
۳۴۵.....	عایق سازی مقاوم به وسیله استفاده از کانال‌های روباز.....
۳۴۵.....	عایق سازی مقاوم به کمک شمع‌های توخالی.....
۳۴۷.....	خودآزمایی.....
فصل هشتم / ظرفیت باربری دینامیکی پی‌های سطحی.....	
۳۴۹.....	ظرفیت باربری دینامیکی پی‌های سطحی.....
۳۵۱.....	خودآزمایی.....
۳۵۳.....	ظرفیت باربری دینامیکی پی‌های سطحی با روش شبه استاتیکی برای خاک‌های دانه‌ای.....

۳۵۵	..... ظرفیت باربری نهایی پی سطحی بر روی خاک‌های روانگرا
۳۵۹	..... بررسی منحنی بار - نشست پی‌های سطحی
۳۶۱	..... خودآزمایی
۳۶۴	..... فصل نهم / تئوری ارتعاشات
۳۶۴	..... مقدمه
۳۶۴	..... ارتعاش آزاد سیستم‌های یک درجه آزادی نامیرا
۳۶۶	..... ارتعاش اجباری سیستم‌های یک درجه آزادی نامیرا
۳۶۸	..... خودآزمایی
۳۷۱	..... ارتعاش آزاد یک سیستم یک درجه آزادی میرا
۳۷۴	..... خودآزمایی
۳۷۹	..... ارتعاش اجباری سیستم یک درجه آزادی میرا
۳۸۲	..... خودآزمایی
۳۹۰	..... سوالات دینامیک خاک کنکور دکترای سراسری ۹۷
۳۹۲	..... پاسخ سوالات دینامیک کنکور دکترای سراسری ۹۷
۳۹۶	..... منابع و مآخذ

با توجه به اهمیت درس دینامیک خاک در کنکور دکترای مهندسی عمران در دو گرایش ژئوتکنیک (خاک و پی) و زلزله بر آن شدیم تا مجموعه حاضر را به منظور آمادگی آزمون دکترای تهیه کنیم. نظر به یکپارچگی آزمون دکترای وزارت علوم و دانشگاه آزاد از کنکور پیش‌رو به این معنا که تنها یک آزمون واحد برگزار می‌شود لذا برای کنکور دکترای سال ۹۶ بسیاری از داوطلبین محترم به دنبال تهیه منبعی کنکوری به منظور پوشش دادن نیازهای خود می‌باشند. از آنجایی که مولف کتاب چند سال اخیر را به تدریس در موسساتی چون ماهان و پارسه در کلاسهای آمادگی آزمون دکترای گذرانده و با فضای این آزمون قرابت زیادی دارد تصمیم بر آن شد کتابی چاپ کنیم تا علاوه بر شرح کامل درسی نکات مهم کنکوری، سوالات آزمون دکترای چند سال اخیر را هم به خوبی پوشش داده باشد. تاکنون درس دینامیک خاک چهار سال در کنکور سراسری طرح شده است. از سال ۹۱ تا ۹۴. همچنین در آزمون دکترای آزاد هم دینامیک خاک جزء مواد آزمون بود و از سال ۹۲ که این آزمون به صورت تستی برگزار شد تا سال ۹۵ از این درس سوال طرح می‌شد. متأسفانه به دلیل سیاست عجیب دانشگاه آزاد در خصوص عدم انتشار سوالات کنکور دکترای، مولف با توجه به احساس نیاز به دسترسی به سوالات بیشتر برای این درس با حضور در جلسه آزمون دکترای سوالات کنکور دکترای آزاد ۹۴ و ۹۵ را به طور کامل جمع‌آوری کرده و در این کتاب شاهد این سوالات و بررسی زوایای مختلف آن خواهیم بود. همچنین از کنکور سال ۹۲ و ۹۳ دکترای آزاد نیز به طور موردی سوالاتی را که داوطلبین محترم برایمان نقل کرده‌اند طرح و بررسی خواهیم کرد. با توجه به اینکه این سوالات به طور عمومی توزیع نشده است و منحصر به این کتاب است از همه دانشجویان و مخاطبین عزیز استعفا داریم تا از انتشار این سوالات در مراجع دیگر اجتناب نمایند که موجب نارضایتی صاحب اثر و دین خواهد گردید. به این ترتیب در این کتاب با خلاصه و شرح درس دینامیک خاک از مراجع مختلف خارجی و داخلی و پاسخ تشریحی سوالات کنکور دکترای سراسری و آزاد مواجه خواهیم بود. یکی از سوالات عمده ای که داوطلبین آزمون دکترای همواره می‌پرسند آن است که با توجه به فرم سوالات آزمون دکترای در بین مراجع فارسی ترجمه شده دینامیک خاک یا ژئوتکنیک لرزه‌ای کدام کتاب را برای مطالعه توصیه می‌کنید؟ و به عبارتی همواره این نگرانی وجود دارد که در صورت مطالعه یک مرجع خاص، سوالات از مرجع یا مراجعی دیگر مطرح شود.

با توجه به اینکه این کتاب ترکیبی از نکات مهم و کلیدی مراجع بین‌المللی خارجی و فارسی در زمینه دینامیک خاک است و سعی شده از مباحثی که طراحان سوال چندین تاملی به طرح سوال در آن ندارند پرهیز شود لذا می‌توان گفت به نظر می‌رسد مرجعی مناسب و راهگشا برای داوطلبین آزمون دکترای باشد.

در نگارش این کتاب سعی شده اولویت‌بندی فصول بر اساس اهمیت آن در آزمون دکترا باشد لذا بر خلاف اسلوب کتاب‌های دینامیک خاک، مباحث کتاب از روانگرایی خاک‌ها آغاز می‌شود و سپس به سراغ دیوار حائل تحت بار لرزه‌ای و بعد خواص دینامیکی خاک‌ها می‌رویم که این سه فصل حدود ۸۰ درصد سوالات آزمون دکترای سراسری را در این ۴ سال شامل می‌شوند و سپس به سراغ اثرات ساختگاه و بعد هم فصول دیگر خواهیم رفت. در جدول ذیل، بودجه‌بندی سوالات دینامیک خاک از سال ۹۱ تا ۹۷ می‌آید.

بودجه‌بندی سوالات دینامیک خاک در آزمون دکترای سراسری

سرفصل درس	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۶	۹۷
تئوری ارتعاشات	۰	۱	۱	۰	۰	۱
انتشار امواج در محیط الاستیک	۲	۰	۰	۰	۱	۰
اثرات ساختگاه	۲	۲	۱	۱	۱	۲
خواص دینامیکی خاک‌ها و آزمایش‌های دینامیک خاک	۳	۳	۲	۳	۲	۲
آشنایی با زلزله	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ظرفیت باربری دینامیکی پی‌های سطحی	۰	۰	۰	۱	۲	۲
روانگرایی خاک‌ها	۳	۳	۳	۳	۲	۱
دیوار حائل تحت اثر بار لرزه‌ای	۲	۲	۳	۳	۳	۲
شیب تحت اثر بار لرزه‌ای	۱	۱	۲	۱	۱	۰
پی ماشین‌آلات	۱	۰	۰	۰	۰	۲

بر اساس بودجه‌بندی می‌توان گفت فصول روانگرایی، دیوار حائل تحت اثر بار لرزه‌ای و خواص دینامیکی خاک‌ها حائز اهمیت زیادی هستند سپس فصول اثرات ساختگاه، شیب تحت اثر بار لرزه‌ای و ظرفیت باربری دینامیکی پی‌های سطحی از اولویت بعدی برخوردارند. بر این اساس سه فصل روانگرایی، دیوار حائل و خواص دینامیکی با شرح و بسط بیشتری پوشش داده شده‌اند.

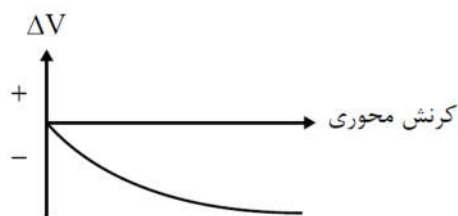
شیوه نگارش کتاب به این صورت است که در هر فصل ابتدا دو یا سه مبحث شرح و بسط داده شده و نکات مهم و کلیدی آن مطرح می‌شود و سپس وارد بخش خودآزمایی می‌شویم که سوالات کنکور دکترای سراسری و آزاد که از آن مباحث ارائه شده طرح شده و سپس به طور کامل پاسخ داده می‌شود. بر این اساس ابتدا سوالات آورده می‌شود و سپس پاسخ سوالات. به این ترتیب آن مبحث پرونده اش بسته می‌شود و وارد مباحث بعدی خواهیم شد. از آنجاییکه علیرغم تمام تلاش‌های انجام شده این اثر نمی‌تواند خالی از ایراد و اشتباه باشد لذا از همه دانشجویان عزیز و اساتید گرامی تقاضا می‌کنیم موارد مورد نظر خود را از طریق مکاتبه و یا از طریق وبسایت نشر نوآورد در اختیار مولف قرار دهند.

فصل اول

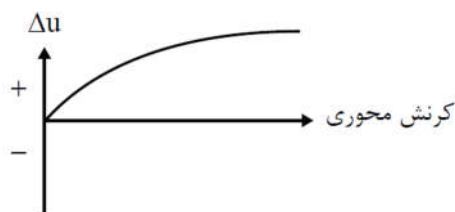
روانگرایی خاک‌ها

۱. تعریف روانگرایی

وقتی ماسه شل و اشباع تحت ارتعاش (زلزله) قرار گیرد تمایل به کاهش حجم خواهد داشت اگر زهکشی انجام نشود فشار آب منفذی زیاد می‌شود، لذا تداوم ارتعاش باعث می‌شود فشار آب حفره‌ای زیادتر شده تا جائیکه تنش موثر صفر می‌شود و ماسه از خود مقاومتی نشان نمی‌دهد و رفتاری مانند یک مایع خواهد داشت. در این حالت سازه‌های بناشده روی آن به راحتی داخل زمین فرو می‌روند. اما چرا در تعریف بالا گفتیم ماسه شل تحت بارگذاری تمایل به کاهش حجم دارد ولی اگر زهکشی نشود فشار آب حفره‌ای زیاد می‌شود؟ از مکانیک خاک به خاطر داریم ماسه شل در صورتیکه تحت اثر بارگذاری در شرایط زهکشی شده قرار گیرد اجازه خروج آب خواهد داشت و با خارج شدن آب از خاک کاهش حجم رخ خواهد داد لذا رفتار ماسه‌های شل در حالت زهکشی شده همراه با کاهش حجم خاک خواهد بود اما اگر اجازه خروج آب به خاک داده نشود در این حالت به جای کاهش حجم با افزایش فشار آب حفره‌ای مواجه خواهیم بود. به عبارتی رفتار همراه با کاهش حجم در خاک در حالت زهکشی شده معادل رفتار همراه با افزایش فشار آب حفره‌ای در حالت زهکشی نشده است. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توضیح داد که وقتی ماسه شل در حالت زهکشی شده تحت بارگذاری قرار می‌گیرد دانه‌های خاک به دلیل ساختار شل تمایل به نزدیک شدن به یکدیگر دارند اما اگر اجازه خروج آب را ندهیم تمایل به نزدیک شدن دانه‌ها باعث ایجاد فشار بیشتر به قطرات آب موجود در بین دانه‌های خاک می‌شود و فشار آب حفره‌ای را زیاد می‌کند.



(الف)



(ب)

شکل ۱. (الف) تغییرات حجم بر حسب کرنش محوری برای ماسه شل در آزمایش زهکشی شده (ب)

تغییرات فشار آب حفره‌ای بر حسب کرنش محوری برای ماسه شل در آزمایش زهکشی نشده

نکته بعد در تعریف روانگرایی مربوط به مفهوم زهکشی نشده است. منظور از حالت زهکشی نشده زمانی است که سرعت بارگذاری از سرعت خروج آب بالاتر باشد. می‌دانیم نفوذپذیری ماسه بالا است اما بسته به اینکه ماسه درشت باشد یا ریز یا میان دانه نفوذپذیری‌های متفاوتی دارد و بین ۶ ساعت تا ۲۴ ساعت زمان می‌برد تا آب از ماسه خارج شود، در حالیکه بارگذاری زلزله حداکثر ۳۰ ثانیه طول می‌کشد و طبیعتاً برای ماسه درشت دانه هم امکان بروز حالت زهکشی نشده زیاد است.

در ادامه‌ی تعریف بالا اشاره شده تنش موثر با بالا رفتن فشار آب حفره‌ای به صفر می‌رسد، دلیل این امر آن است که فشار آب حفره‌ای و تنش موثر رابطه عکس با یکدیگر دارند. به عبارتی وقتی فشار آب حفره‌ای درون خاک زیاد می‌شود اتفاق خوبی نیست و شرایط خاک به سمت ناپایداری می‌رود حال آنکه وقتی تنش موثر در خاک افزایش می‌یابد این امر در جهت اطمینان است. می‌توان گفت تنش موثر شاخص مقاومت خاک است و هرچه تنش موثر بیشتر شود مقاومت خاک بیشتر می‌شود. پس وقتی تنش موثر صفر شود خاک دانه‌ای (فاقد چسبندگی) عملاً مقاومت خود را به طور کامل از دست می‌دهد و سازه درون خاک فرو می‌رود.

بعد از روان شدن خاک و فرو رفتن سازه در آن، حدود چند ثانیه تا چند دقیقه خاک در حالت روان باقی می‌ماند اما طبیعتاً چون تحریک زلزله به اتمام رسیده کم کم مقاومت خود را بازیابی می‌کند و به حالت اول (و شاید هم کمی بهتر) بر می‌گردد اما مطابق شکل زیر سازه درون خاک گرفتار می‌شود.



شکل ۲. الف) فرو رفتن یک ویلا بعد از روانگرایی درون خاک (ب) فرو رفتن یک ماشین کوچک و

سبک بعد از روانگرایی درون خاک

۲. پروسه وقوع روانگرایی

با وقوع روانگرایی سازه داخل خاک فرو می‌رود سپس بلافاصله مراحل تحکیم خاک رخ می‌دهد که با نشست سطح زمین همراه است به این ترتیب ذرات بیش‌تر در هم فرو می‌روند و فشار آب حفره‌ای محو خواهد شد و آب به طرف بالا (سطح زمین) جریان پیدا می‌کند، جریان رو به بالا تنش موثر را بیش‌تر کاهش می‌دهد در نهایت این امر ممکن است موجب روانگرایی لایه‌هایی از زمین بشود که قبلاً روان نشده بود.

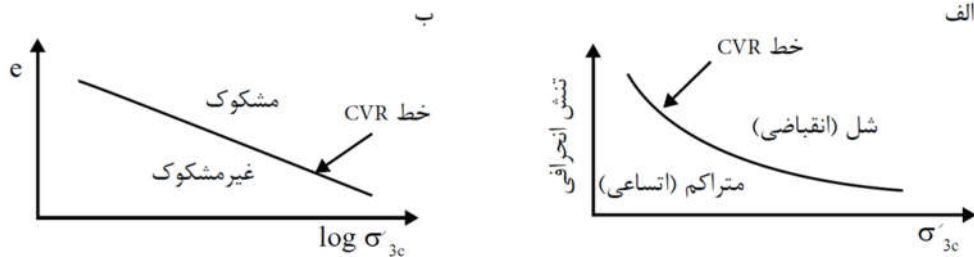
اولین شاخصی که به منظور ارزیابی پتانسیل بروز روانگرایی مطرح شد تخلخل بحرانی خاک (e_{cr}) بود. اما تخلخل بحرانی چه بود؟ بر اساس مفاهیم مکانیک خاک به خاطر داریم ماسه متراکم تحت برش

از دیاد حجم دارد و ماسه شل تحت برش کاهش حجم. پس تخلخلی وجود دارد که در آن وضعیت از تراکم هیچگونه تغییر حجمی نخواهیم داشت که آن را تخلخل بحرانی گویند.
 کا: اگرانده تخلخل بحرانی را مبنای وقوع یا عدم وقوع روانگرایی در نظر گرفت. اما تخلخل بحرانی (e_{cr}) تابع فشار همه جانبه (σ_3) بود. همچنین شرایط تغییر شکل‌های مرزی نیز موجب تغییر (e_{cr}) می‌شد.

جدول ۱. تاثیر فشار همه جانبه بر تخلخل بحرانی

تخلخل بحرانی (e_{cr})	فشار همه جانبه (σ_3) ، کیلوگرم بر سانتی متر مربع
۰/۸۵	۱/۱
۰/۸۲	۲/۲
۰/۷۸	۴/۴

به عبارتی شرایط نمونه خاک کرنش صفحه‌ای یا وضعیت سه محوری باشد (e_{cr}) متفاوت خواهد بود. پس (e_{cr}) یک خاصیت ثابت و غیرقابل تغییر خاک نیست. البته این مفهوم در سال ۱۹۸۳ با شکست شیروانی پایین دست سد فرت پک تناقض نشان داد. این معیار به دلیل عدم دقت بعدها مردود شد.



شکل ۳. الف) تغییرات تنش انحرافی با فشار همه جانبه موثر. ب) تغییرات تخلخل خاک بر حسب فشار همه جانبه موثر. دیده می‌شود با افزایش فشار همه جانبه موثر تخلخل بحرانی کم می‌شود.

۳. عوامل موثر بر روان شدن خاک‌ها

- ۱- اندازه ذرات ماسه (دانه‌بندی)
 - ۲- دانسیته نسبی اولیه ماسه
 - ۳- خصوصیات بارهای ارتعاشی
 - ۴- ضخامت ماسه (و موقعیت زهکش‌ها)
 - ۵- تنش همه جانبه
 - ۶- روش شکل گرفتن ماسه
 - ۷- سن ماسه
 - ۸- سابقه تغییر شکل‌های نسبی قبلی (پیش کرنش)
 - ۹- حباب‌های هوای محبوس بین ذرات
 - ۱۰- سفره آب زیرزمینی
 - ۱۱- نوع خاک
 - ۱۲- شکل ذرات
 - ۱۳- بار ساختمان
 - ۱۴- نسبت پیش تحکیمی
- حالا برویم سراغ توضیحات هر یک.

۱- اندازه ذرات ماسه (دانه‌بندی)

ذرات ریز خاک‌های خوب دانه‌بندی شده فضای خالی بین ذرات درشت‌تر را پر می‌کنند، این امر باعث می‌شود که پتانسیل انقباض خاک کاهش یابد. ماسه‌های ریزدانه در مقایسه با ماسه‌های درشت دانه تحت شرایط یکسان پتانسیل بیش‌تری جهت روانگرایی دارند زیرا نفوذپذیری مصالح درشت دانه بیش‌تر است و فشار آب حفره‌ای آسان‌تر محو می‌شود لذا پتانسیل روانگرایی کم‌تر خواهد بود. ماسه‌های با دانه‌بندی یکنواخت (بد دانه‌بندی شده) از ماسه با دانه‌بندی گسترده (خوب دانه‌بندی شده) قابلیت بیش‌تری برای روانگرایی دارند.

۲- دانسیته نسبی اولیه ماسه

هر چه تراکم نسبی ماسه افزایش یابد صلبیت خاک بیش‌تر شده و افزایش مقاومت در خاک و کاهش پتانسیل روانگرایی رخ خواهد داد.

۳- خصوصیات بارهای ارتعاشی

روانگرایی خاک تابع ۱. نوع بار دینامیکی و ۲. مقدار بار دینامیکی وارده می‌باشد. در بارگذاری‌های آنی و ضربه‌ای کل لایه ماسه ممکن است روان شود، در حالیکه در بارگذاری‌های دینامیکی آرام و پیوسته روانگرایی از قسمت‌های بالایی لایه ماسه شروع شده و بتدریج به طرف پایین پیش می‌رود. اگر بالای ماسه خشک باشد روانگرایی اصلا رخ نمی‌دهد.

توجه: نشست‌های ایجاد شده در ماسه تحت اثر ارتعاشات افقی به مراتب بیش‌تر از ارتعاشات قائم است. یکی از مواردی که دستگاه آزمایش موضوعیت پیدا می‌کند همین جاست.

میزان خسارت وارده به ساختمان‌ها ناشی از روانگرایی بستگی دارد به اینکه چه مدتی ماسه در حالت مایع باقی بماند. در ماسه‌های درشت دانه این مدت کوتاه‌تر از ماسه‌های ریز دانه است (به علت نفوذپذیری بالای مصالح). به عنوان یک مطالعه موردی در سال ۱۹۷۱ در یکی از شیروانی‌های آلاسکا ۹۰ ثانیه پس از شروع زلزله لغزش رخ داد. اگر مدت زمان زلزله (حرکات زمین) مثلاً ۵۰ ثانیه طول می‌کشید ناپایداری رخ نمی‌داد اینجاست که مفهوم تعداد سیکل‌های بارگذاری موضوعیت پیدا می‌کند.

$$\text{آستانه لرزه‌ای برای ایجاد روانگرایی: } (M_L \geq 5, a_{\max} \geq 0.1g)$$

اگر کم‌تر از این‌ها باشد تحلیل روانگرایی نیاز نیست. متداول‌ترین علت رخداد روانگرایی انرژی آزاد شده در هنگام زلزله است. پتانسیل روانگرایی با افزایش شدت زلزله و مدت زمان لرزه‌ها افزایش می‌یابد. زلزله با بزرگی بیش‌تر شتاب زمین بزرگتری ایجاد می‌کند و مدت زمان لرزه‌های زمین بیش‌تر است.

نکته بعد اینکه در زلزله ارتعاشات چند بعدی به وقوع می‌پیوندد پس تاثیر شدیدتری از ارتعاش یک بعدی دارد (بر اساس مطالعات سید) زیرا فشار آب حفره‌ای در اثر ارتعاشات چند بعدی بسیار سریعتر از ارتعاشات یک بعدی افزایش می‌یابد. (آزمایش‌های سه محوری سیکلی و برش ساده سیکلی زلزله یک بعدی را مدل می‌کنند اما میز لرزه زلزله چند بعدی را).

از طرفی نسبت تنش‌های اصلی که در آن وضعیت از تنش‌ها فشار آب‌های حفره‌ای به مقدار ماکسیمم خود برسد در ارتعاشات چند بعدی ۱۰ درصد کم‌تر از مقدار آن در ارتعاشات یک بعدی است.

۴- ضخامت ماسه (و موقعیت زهکش‌ها)

در لایه ماسه با ابعاد وسیع حین بارگذاری زلزله موقعیت زهکشی نشده می‌باشد پس مسیر زهکشی طولانی می‌شود و احتمال وقوع روانگرایی زیاد می‌شود. راه حل استفاده از زهکش‌های شنی است. اگر نفوذپذیری زهکش‌های شنی ۲۰۰ برابر نفوذپذیرتر از مصالح اصلی باشند عمل زهکشی با راندمان کامل صورت می‌گیرد و طول مسیر زهکشی کوتاه‌تر خواهد شد.

۵- تنش همه جانبه

اعمال تنش‌های بزرگ همه جانبه بر لایه ماسه و ایجاد تنش‌های موثر اولیه بزرگ در خاک احتمال وقوع روانگرایی را کاهش می‌دهند. افزایش عمق، باعث افزایش فشار همه جانبه به ماسه می‌شود از این رو حداکثر عمقی که احتمال روانگرایی در آن وجود دارد باید بررسی شود. طبق نشریه ۵۲۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی تحت عنوان راهنمای ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک‌ها باید دست کم تا عمق ۱۵ متر در زیر سطح زمین موجود یا پایین‌ترین تراز تمام شده پیشنهادی (هر کدام که پایین‌تر بود) مورد بررسی قرار گیرد. در جاهایی که سازه‌ها دارای فضاهای زیرزمینی یا پی‌های عمیق هستند نظیر شمع‌ها عمق بررسی باید دست کم به اندازه بیشینه دو مقدار زیر ادامه یابد:

الف. ۶ متر زیر پایین‌ترین تراز پی پیش بینی شده (برای مثال نوک شمع)

ب. ۱۵ متر زیر سطح زمین موجود یا پایین‌ترین تراز تمام شده پیشنهادی.

چنانچه شاخص‌های ارزیابی روانگرایی نشان دهد که پتانسیل روانگرایی می‌تواند در عمق‌های بیش‌تر از عمق تعیین شده نیز وجود داشته باشد باید عملیات شناسایی تا عمق برخورد به یک ضخامت قابل توجه از خاک غیر روانگرا (دست کم ۳ متر) ادامه پیدا کند.

شرایط تنش اولیه در توده خاک همگن:

اگر شرایط اولیه تنش در خاک همانطور که معمولاً در طبیعت وجود دارد در جهات مختلف یکسان نباشد شرایط تنش‌هایی که موجب روانگرایی می‌شود وابسته به (k_c) ضریب فشار جانبی خاک در حال سکون خواهد بود.

توجه: برای (k_c) بزرگتر از ۰/۵ تنش‌های اولیه لازم جهت ایجاد روانگرایی خاک حداقل ۵۰٪ افزایش خواهد یافت پس آزمایش سه محوری سیکلی نمی‌تواند به طور واقعی شرایط تنش‌ها را مطابق آن چه در عمل است برقرار سازد چون در سه محوری سیکلی $k_c = 1$ است. لذا نتایج آزمایش سه محوری سیکلی در ارتباط با روانگرایی محافظه‌کارانه است.

۶- روش شکل گرفتن ماسه

خصوصیات روان شدگی ماسه اشباع تابع ۱. روش تهیه نمونه و ۲. ساختمان ماسه است. مطالعات سید (Seed) نشان داد بسته به روش تهیه نمونه شرایط تنش‌های لازم جهت روانگرایی تا حدود ۲۰۰ درصد تغییر می‌کند. نهشته‌های خاک طبیعی شکل گرفته در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها نیز ساختار خاک شل و ذرات جدا از هم را تشکیل می‌دهند و بیش‌تر مستعد روانگرایی اند. پس خاک‌هایی که در محیط‌های نهشته‌های دریاچه‌ای، آبرفتی و دریایی شکل می‌گیرند بیش‌تر مستعد روانگرایی‌اند.