سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور

**معاونت فنی و نظارت**

**دفتر فنی**

**گروه مکانیک خاک**

عنوان :

# بسترسازی وپی سازی روی خاکهای ریزدانه و اشباع

مهرماه ۱۳۸۶

# پیشگفتار

" بیایید دست در دست هم  ایرانی آباد وسرفراز بسازیم "

ابتدا از جناب آقای مهندس وفایی رئیس محترم گروه مکانیک خاک دفتر فنی سازمان نوسازی مدارس کشور کـه همـواره با لطف وحمایتهای خودمن را در این راه تشویق ودلگرم نموده اند، کمال تشکر وقدردانی را می نمایم.

همچنین از کلیه همکاران و علاقه مندان عزیزی که در ارتباط با این مقاله، مطلب، پیشنهادو انتقادی دارنـد، و یـا مطلبـی در زمینه مکانیک خاک وبتن و پی سازی دارند، دعوت می شود که مطالب خود را با ذکر منبع آن برای این گـروه ارسـال نمایند.

کارشناس ارشد مکانیک خاک وپی ازدانشگاه علم وصنعت ایران

امیرحسین شهیدی فرد

# فهرست مطالب :

**عنوان** **صفحه**


مقدمه..... ۱

فصل اول : روانگرایی انواع خاکها ..... ۳
روانگرایی خاکهای ماسه ای ..... ۳
مکانیزم روانگرایی خاکهای ماسه ای ..... ۳
پتانسیل روانگرایی خاکهای ریزدانه خمیری ..... ۶
روانگرایی خاکهای سیلتی ..... ۷
بررسی تست های آزمایشگاهی ..... ۸

فصل دوم : ارزیابی پتانسیل روانگرایی و آزمایشهای مربوطه ..... ۱۰
مدل های ارزیابی پتانسیل روانگرایی ..... ۱۱
بررسی ها و روشهای آزمایش ..... ۱۲
نمونه گیری ..... ۱۲
قطر لوله نمونه گیر ..... ۱۳
طول نمونه گیری ..... ۱۳
آزمایش روانگرایی ..... ۱۳
عوامل موثر بر مقاومت روانگرایی ..... ۱۴
شرایط بارگذاری ..... ۱۵
شرایط خاک ..... ۱۵
شرایط تنش ..... ۱۶
نتایج ..... ۱۷

فصل سوم : تقویت خاکهای با قابلیت روانگرایی ..... ۱۸
تقویت خاکهای با قابلیت روانگرایی ..... ۱۹
روشهای تقویت در مقابل روانگرایی ..... ۱۹

فصل چهارم : اثر سیمانتاسیون بر روانگرایی خاکهای ماسه ای ..... ۲۲
اثر سیمانتاسیون بر روانگرایی خاکهای ماسه ای ..... ۲۳
سابقه تحقیقات اثر سیمانتاسیون بر روانگرایی خاکهای ماسه ای ..... ۲۳
روانگرایی ماسه های طبیعی سیمان شده ..... ۲۴
ارتباط سیمانتاسیون و دانسیته در ماسه های مصنوعی سیمان شده ..... ۲۴

**عنوان** **صفحه**


فصل پنجم : اثر ذرات رس به عنوان یک عامل سیمانتاسیون بر روانگرایی خاکها ..... ۲۷

اثر ذرات رس به عنوان یک عامل سیمانتاسیون بر روانگرایی خاکها ..... ۲۸

دستگاه آزمایش و آماده سازی نمونه ..... ۲۸

اثر درصد ذرات رس بر رفتار روانگرایی خاک ..... ۲۹

نتایج ..... ۳۰

فصل ششم : روش های اجرای سیمانتاسیون ..... ۳۱

روشهای اجرای سیمانتاسیون ..... ۳۲

اصول و کاربرد روش پیش مخلوط ..... ۳۲

خصوصیات روش پیش مخلوط ..... ۳۳

مراحل طراحی ..... ۳۴

آزمایش و بررسی خاک ..... ۳۴

آزمایش برای تعیین نسبت اختلاط ..... ۳۵

روش اجراء ..... ۳۷

بازرسی در کار ساخت ..... ۴۱

آزمایش مقدماتی در محل قبل از ساخت ..... ۴۲

مثالهایی از آزمایش احیاء ..... ۴۳

نتایج ..... ۴۵

فصل هفتم : نتیجه گیری ..... ۴۶

نتیجه گیری ..... ۴۷

منابع و مراجع ..... ۵۰

## مقدمه :

از پدیده هایی که در طبیعت با خسارات فراوان همراه می باشد، روانگرایی خاکهاست. این پدیده بعنوان عامل اساسی گسیختگی در رسوبات ماسه ای سیلت دار اشباع درنظرگرفته می شود. این موضوع تا سال ۱۹۵۳ عینیت نیافته بود تا اینکه پدیده مشابه ای توسط Mogami,kubo (۱۹۵۳) شناخته شد و نام روانگرایی بعنوان یک موضوع با اهمیت مهندسی به آن نسبت داده شد.

زلزله نیگاتای ژاپن در ژوئن ۱۹۶۴ به بزرگی ۷,۵ ریشتر بعنوان نقطه عطفی دیگرمورد توجه قرارگرفت. شهر نیگاتا که توسط یک آتش سوزی بزرگ درسال ۱۹۵۵ به خاکستر تبدیل شده بود، درنتیجه کارهای عمرانی فراوان درناحیه شهری مجددا" شکل گرفت ومانند یک شهر جدید با تجهیزات وتاسیسات مدرن تجدید حیات یافت، لذا زلزله ۱۹۶۴ ضربه ای بسیار بزرگ برای این شهر بود و تخریب بی سابقه ای را موجب گردید. از زلزله نیگاتا می توان بعنوان سمبلی از نخستین حادثه درجهان که تمامی شریانهای حیاتی پیشرفته شهررا ویران نمود،یاد کرد. علت اساسی خرابی دراین زمین لرزه، روانگرایی خاک بود. بهمین دلیل مسائل مربوط به روانگرایی درمیان جامعه ژئوتکنیک توجه زیادی رابه خود جلب نموده است. اززمان زلزله نیگاتا درسال ۱۹۶۴ مهندسین ژئوتکنیک لرزه ای بسیاری تلاش نموده اند تا مکانیزم روانگرایی را استاندارد نموده وتوصیه ها واستانداردهایی در خصوص تبیین روانگرایی براساس داده های صحرایی و آزمایشگاهی ارائه دهند.

در کشورخودمان ایران نیز یکی ازعلل خرابی های گسترده درزلزله بامداد ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ بخصوص در شهرستان آستانه وروستاهای حومه آن روانگرایی زمین بود.

روانگرایی پدیده ای پیچیده است که بصورت کامل شناخته نشده است. درپروژه های مهندسی، منطقی ترین ومناسبترین راههای مقابله با روانگرایی درزمینهای احیاءشده مورد نیازاست که سعی شده دراین سمینار یکی ازراههای مقابله با روانگرایی که سیمانتاسیون می باشد،برای مهندسین پروژه های عمرانی ارائه گردد.

درخاکهای ماسه ای ذرات ماسه بوسیله اتصال بین ذرات نگهداری می شوند ونیرومی تواند ازطریق این اتصالات منتقل گردد، این امرسبب ایجاد مقاومت برشی شده وباعث می شود سازه ای که برروی سطح زمین قرارگرفته، بوسیله خاک تحمل شود. زمانی که خاک ماسه ای دراثرتنش برشی ناشی ازارتعاش تغییرشکل می دهد،اتصال بین ذرات کم میشود، درنتیجه نیرویی که عموما" درجهت قائم وازمیان نقاط اتصال تحمل می شود تبدیل به فشار آب حفره ای می گردد که این حالت مربوط به پدیده روانگرایی می باشد. بعد ازروانگرایی اتصال بین ذرات خاک تماما"بازسازی می شود واین امر زمانی اتفاق می افتد که فشار آب حفره ای زائل شود.

از این رو اهمیت سیمانتاسیون دربالابردن مقاومت اتصال بین ذرات وافزایش مقاومت برشی کاملا" مشهود است. سیمانتاسیون می تواند بصورت طبیعی درخاک موجود باشد ویا ازطریق فعالیتهای مصنوعی ناشی ازمخلوط کردن ویا تزریق ایجاد گردد. درمحیط طبیعی، سیمانتاسیون به سبب رسوبات شیمیایی، پیامدهای جانبی هوازدگی، اثرات جوشکاری واتصالات ناشی ازذرات رس بوجود آید.

دراین مطالعه ابتدا به بررسی پدیده روانگرایی درخاکهای ماسه ای وسیلتی می پردازیم وسپس اثرسیمانتاسیون برروانگرایی خاکها رامورد بررسی قرارمی دهیم. درفصلهای بعد روشهای اجرای سیمانتاسیون، اثرمیزان رس برمقاومت روانگرایی خاکها، مدلهای ارزیابی پتانسیل روانگرایی وراههای مقابله با این پدیده مورد بحث قرار می گیرد.

# فصل اول

## روانگرایی انواع خاکها

# روانگرایی خاکهای ماسه ای

## مقدمه

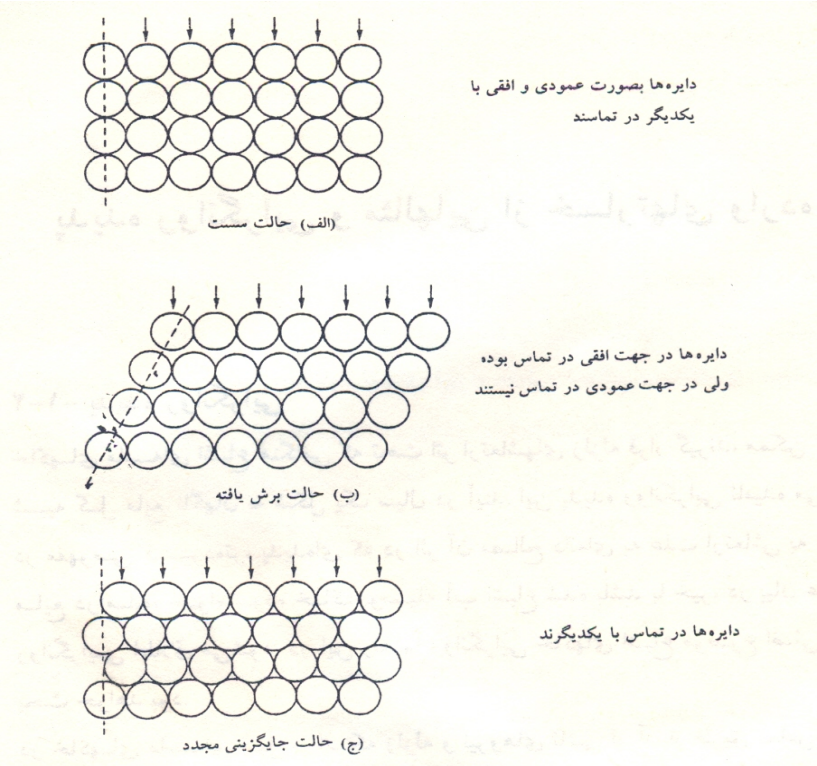
خاکهای ماسه ای اشباع هنگامی که تحت اثر ارتعاشهای زلزله قرارگیرند، ممکن است شبیه گل مایع ناگهان به شکل یک سیال درآیند، این پدیده روانگرایی نامیده میشود. درمفهومی گسترده تر،پدیده ای که دراثر آن مصالح دانه ای بعلت ارتعاش به حالت مایع درآمده، خواه توده خاک بوسیله آب اشباع شده باشد یا نه، دربیان عمومی روانگرایی اطلاق میشود.

روانگرایی خاکهای اشباع اغلب سبب خرابی های وسیعی در محیط اطراف می شود.درسه دهه اخیر، تحقیقات فراوانی درارتباط با مطالعه رفتار روانگرایی خاکهای دانه ای اشباع درایالات متحده ،کانادا،ژاپن وهند انجام شده است.برای این منظور از آزمایشهای آزمایشگاهی مانند سه محوری ،میز ارتعاشی و... برای برآورد پتانسیل روانگرایی خاکهای دانه ای اشباع استفاده شده است.

## مکانیزم روانگرایی خاکهای ماسه ای

درخاکهای ماسه ای قبل ازاینکه زلزله ونیروهای ناشی از آن از طریق تماس ذرات بتوانند منتقل شوند،ذرات خاک دارای تماسهای پایداری بین یکدیگرهستند، این امرموجب می شود که مقاومت برشی خاک پایداری سازه ای را که برسطح زمین قرار دارد،تامین نماید. این حالت در شکل (۱-۱-الف) بصورت شماتیکی نشان داده شده است. هنگامی که این خاک دراثر تنشهای برشی ناشی از ارتعاشات زلزله، تغییرشکل می دهد،همچنانکه درشکل (۱-۱-ب) مشاهده میشود، تماس میان ذرات ازبین می رود،درنتیجه نیروهایی که اصولا" بوسیله تماسهای ذرات در امتداد قائم تحمل می شدند، به آب منفذی منتقل می گردند، این حالت همان بروز شرایط روانگرایی خواهد بود. دراین حالت تماس میان ذرات ازبین رفته ومقاومت برشی خاک صفر می شود وخاک ماسه ای رفتاری شبیه یک مایع که وزن مخصوص آن برابر خاک اشباع است از خود نشان خواهد داد.

بعد از روانگرایی همزمان با خروج آب تماس بین ذرات خاک مجددا" برقرار شده وحالتی مانند آنچه در شکل (۱-۱-ج) نشان داده شده، بوجود می آید که همان گیرش مجدد توده خاک پس از وقوع مقدارزیادی نشست خواهد بود. کاهش حجم درخاک نشست کرده برابر حجم آب حفره ای است که از خاک خارج شده است.

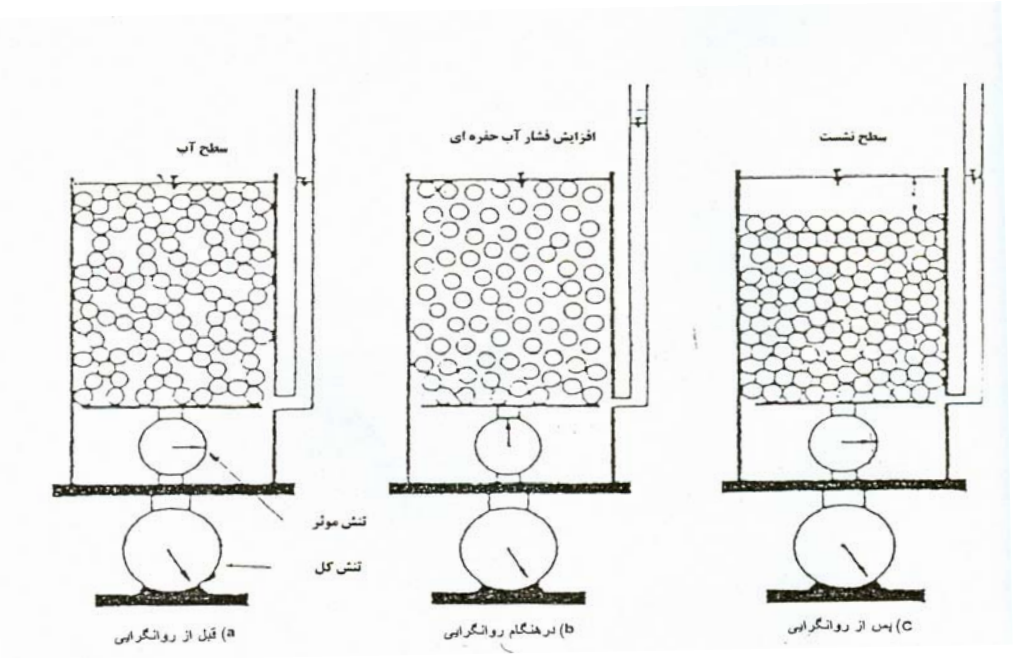



شکل (۱-۱):دیاگرام شماتیکی از آرایش ذرات ماسه در خاکهای ماسه ای اشباع

مکانیزم اساسی روانگرایی در لایه های ماسه ای اشباع وسست، افزایش تدریجی فشار منفذی دراثر اعمال تنش های سیکلی حاصل از انتشار موج برشی زلزله می باشد، یک المان خاک درزمین مسطح در شرایط طبیعی تحت تنش های جانبی حاصل از وزن لایه های بالا قرار می گیرد. درهنگام اعمال تنش های سیکلی به یک المان ماسه سست، تمایل به تراکم ودرنتیجه کاهش حجم درآن المان وجود دارد. اگرزمان بارگذاری بسیارکمتراز زمان لازم برای زهکشی وخروج آب باشد، امکان کاهش حجم در زمان کوتاه ایجاد نشده ودرنتیجه دروضعیت تنش سیستم تغییراتی ایجاد می شود، این تغییرات شامل کاهش تنش موثر بین ذرات و افزایش فشارمنفذی می باشد. بنابراین مقدار فشارمنفذی ایجادشده به وضعیت فشردگی، خصوصیات کاهش حجم المان در اثربارگذاری، شدت ودوام بارگذاری بستگی پیدا می کند.

اگر ماسه به اندازه کافی سست وشدت بارگذاری به اندازه کافی بزرگ باشد، ممکن است فشارمنفذی معادل تنش موثر اولیه بین ذرات شود.دراین لحظه نیروهای بین ذرات از بین رفته وذرات بصورت معلق وغوطه ور قرار می گیرند، به یک چنین وضعیتی روانگرایی گفته می شود. گروهی از محققین اعتقاد دارند که دراین وضعیت مقاومت ذرات به حداقل رسیده وجسم دریک تنش موثر،تنش برشی وحجم ثابت بطور پیوسته تغییرشکل می دهد. پس ازایجاد روانگرایی، ذرات مجزای ماسه درآب رسوب کرده وپس از اتمام رسوب گذاری، ماسه دریک وضعیت متراکم تر قرارمی گیرد. درشکل ۱-۲ سه وضعیت مختلف: الف)قبل از روانگرایی ب)درهنگام روانگرایی ج)پس از روانگرایی ، نمایش داده شده است. دراین شکل درجه داخلی، تنش موثر ذرات ودرجه بیرونی، تنش کل ذرات را نشان می دهند.

خاکهای واقعی بسیار پیچیده ترهستند زیرا ازروی هم قرارگرفتن نامنظم ذرات با اندازه های مختلف تشکیل می شوند. بنابراین حتی زمانی که خاک متحمل تغییر شکلهای برشی می شود،تمامی نقاط تماس ذرات یکباره ازبین نمی رود. بعضی از ذرات ممکن است تماس خود را ازدست داده، اما بقیه بعنوان بخشی از اسکلت خاک تماس خود راممکن است هنوز حفظ نمایند.




شکل(۱-۲): نحوه قرارگیری ذرات ماسه درسه وضعیت مختلف

دراین حالت اضافه فشار منفذی متناسب با تعداد نسبی نقاط تماس از بین رفته، تولید می شود. درهمین زمان بخش هایی هستند که تماس ذرات در آنها برقراربوده ودر نتیجه بخشی از مقاومت برشی در آنها ملاحظه می شود.

فرایند روانگرایی خاکها بصورت کمی برحسب نسبت فشار آب حفره ای U به تنش موثر قائم اولیه$\sigma$ تعریف می شود. اگر تمامی تنش موثر $\sigma$ قبل از برش که در اصل میان نقاط تماس ذرات رد وبدل می شود، درهنگام ازبین رفتن نقاط تماس ذرات به آب منفذی منتقل شود،در اینصورت $U= \sigma$ خواهد شد. دراین حالت نسبت فشار آب حفره ای برابر ۱= $U/\sigma$ خواهد گردید. حالتی که در آن نسبت ۱= $U/\sigma$ ویا نزدیک آن باشد، حالت روانگرایی نامیده می شود.

مقاومت برشی وخصوصیات تغییرشکل پذیری خاکهای اشباع که متاثر از زلزله ها می باشند، اصولا بوسیله فشار آب منفذی مشخص می گردند. با توجه به این موضوع که به هرحال مقاومت برشی وخصوصیات تغییرشکل پذیری خاکها تابع دانسیته آنها نیز می باشد، حائز اهمیت بسیار است. هنگامی که خاک متراکم باشد، حتی با افزایش فشار آب منفذی اضافی، پایداری آن حفظ می شود. اما هنگامی که خاک سست باشد، درصورت افزایش نسبت فشار آب منفذی ازحدود ۰,۵، ناپایداری بوقوع خواهد پیوست، یعنی فشارآب منفذی با تمایل به افزایش ناگهانی موجب روانگرایی خاک خواهد شد.

## پتانسیل روانگرایی خاکهای ریزدانه خمیری

پتانسیل روانگرایی خاکهای ریزدانه خمیری با استفاده از معیار چینی ابداعی توسط wang(۱۹۷۹) تعیین می گردد. نکات مهم این معیار عبارتند از:

_ درصد مواد ریزتر از ۰۰۵. میلی متر< ۲۰٪

_ حد روانی LL <۳۵٪

_ مقدار رطوبت طبیعی > LL ۰.۹

_ شاخص روانی > ۷۵.

خاکهایی که دارای هرچهارشرط مزبورمی باشند مستعد روانگرایی با افت قابل توجه مقاومت درنظر گرفته می شوند. بعلاوه هرگونه خاک ریزدانه ای که مقاومت به نفوذ استاندارد آن ۴ > N باشد مستعد روانگرایی با افت قابل توجه مقاومت تحت بارسیکلی شناخته می شود، صرفنظر از آنکه معیارچینی درمورد آنها صادق باشد یا خیر. معیارچینی معمولا" بصورت اکید بدون درنظرگرفتن عدم قطعیت های ناشی از اندازه گیری پارامترهای این معیار بکاربرده می شود. همین معیار توسط Idriss, Seed, (1983)Seed بصورت زیرتعریف شده است:

_ درصد مواد ریزتر از۰۰۵. میلی متر < ۱۵٪

_ حد روانی LL < ۳۵٪

_ مقدار رطوبت طبیعی > LL ۹.

معیار فوق بر اساس مطالعات انجام شده درایالات متحده روی رسها وسیلتها حاصل گردیده است. مشاهده می شود که این معیار تا حد زیادی مشابه معیار چینی ها می باشد.

## روانگرایی خاکهای سیلتی

مقدمه:

روانگرایی خاکهای اشباع اغلب سبب خرابی های وسیعی در مصالح ومحیط اطراف می گردد. درسه دهه اخیر، تحقیقات فراوانی درارتباط با مطالعه رفتار روانگرایی خاکهای دانه ای اشباع درایالات متحده ، کانادا، ژاپن وهند انجام شده است. به همین منظور از آزمایشهای آزمایشگاهی مانند دستگاه سه محوری سیکلی ،دستگاه برش ساده سیکلی و آزمایشهای میز ارتعاشی برای برآورد پارامترهای مهم اثر گذار بر روانگرایی، استفاده شده است. درمقایسه با خاکهای دانه ای، بیشتر خاکهای ریزدانه مانند سیلتها، ماسه های سیلتی و رسها عموما غیرروانگرا درنظرگرفته می شوند. مطالعات اخیر نشان می دهد که خاکهای ریزدانه، بخصوص سیلت ها،ممکن است درشرایط خاص مستعد روانگرایی باشند

| مقدار | خاصیت |
|---|---|
| ٪۹۳-۹۸ | عبوری از الک ۲۰۰ |
| ٪۱۸-۲۶ | مقدار آب طبیعی |
| ٪۳۲-۳۶ | حد روانی |
| ٪۲۱-۲۵ | حد خمیری |
| ٪۹-۱۴ | شاخص خمیری |
| ٪۲-۷/۲ | مقدار رس(ریزتر از ۲ میکرون) |
| (KN/m$^3$) ۱۴/۷-۱۵/۲ | وزن مخصوص خشک |

جدول 1-1:خواص خاک بکار رفته در تستهای آزمایشگاهی (مرجع۱)

## بررسی تست های آزمایشگاهی

آزمایشهای سه محوری سیکلی روی نمونه های دست نخورده وبازسازی شده با قطر ۷۳٫۶۵ میلیمتر و ارتفاع ۱۴۷٫۳ میلیمتر انجام گرفته است.

مشخصات خاک بکار رفته در آزمایشها ومحدوده پارامترهای این آزمایشها درجدول ۱-۱ و ۱-۲ ارائه شده است.

نمونه های دست نخورده به دقت ازمحل بدست می آیند و با کمترین حد دست خوردگی ممکن، به آزمایشگاه منتقل می شود. به همین منظور ازلوله شلبی برای استخراج نمونه ها استفاده می گردد. رطوبت اولیه و وزن مخصوص نمونه های بازسازی شده مطابق نمونه های دست نخورده تهیه می شوند.

آزمایشهای سه محوری سیکلی مطابق شیوه های آزمایش استاندارد انجام می گیرد وبا رساندن ضریب به ۹۸۵. ویا قبل از بارگذاری سیکلی نمونه اشباع فراهم می شود. آزمایشها تا زمانی که فشار آب حفره ای مساوی فشار محدود کننده موثر اولیه گردد ویا کرنش محوری به ۲۰ درصد برسد، ادامه می یابد.

| نوع نمونه | پارامترهای مورد آزمایش | مقادیر پارامترها |
|---|---|---|
| اشباع دست نخورده | نسبت تنش سیکلی $(\sigma_d / 2\sigma_3)$ | ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۵، ۰/۳، ۰/۳۵، ۰/٤، ۰/٤۵، ۰/۵ |
| | فشار محدودکننده موثر، $\sigma_3$ | ٦۹، ۱۰۳/۵، ۱۳۸ $(KN/m^2)$ |
| | نسبت بیش تحکیمی، OCR | ۱، ۲، ٤ |
| اشباع بازسازی شده | نسبت تنش سیکلی $(\sigma_d / 2\sigma_3)$ | ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۵، ۰/۳، ۰/۳۵، ۰/٤، ۰/٤۵، ۰/۵ |
| | فشار محدودکننده موثر، $\sigma_3$ | ۱۰۳/۵ $(KN/m^2)$ |
| | شاخص خمیری | ۱۰-۲۰ |

جدول ۱-۲ :پارامترهای مورد آزمایش برای مطالعات مقاومت سیکلی ماسه سیلتی (مرجع ۱)

# فصل دوم

## ارزیابی پتانسیل روانگرایی وآزمایشهای مربوطه

## مدل های ارزیابی پتانسیل روانگرایی

یکی از روشهای ارزیابی پتانسیل روانگرایی براساس مقایسه تنش های ایجاد شده بر اثر زلزله و مقاومت خاک مـی باشـد. بنابراین روشهای مختلفی براساس جدول ۲-۱ پیشنهاد شده است که برای ارزیابی تنش برشی ومقاومت برشی بکـار مـی رود.

| شماره | ارزیابی مقاومت روانگرایی | ارزیابی اثرات زلزله | مثالهایی از روشهای پیش بینی |
|---|---|---|---|
| ۱ | —— | بزرگـی زلزلـه و فاصـله کانونی | [۱ Kuribagashi & Tatsuka]، [۲ Wakamatsu] |
| ۲ | ژئومورفولوژی | —— | [۳ Kotoda et al.] |
| ۳ | دانه بندی / عدد SPT | —— | تنظیم استانداردها برای ریسک مصالح [٤] |
| ٤ | دانه بندی / عدد SPT | حداکثر شتاب روی سطح زمین | مشخصات پلهای بزرگراهها [٥] |
| ٥ | دانه بندی / عدد SPT | حداکثر شتاب روی سطح زمین و بزرگی زلزله | پیشنهادات برای طراحی پی ساختمانها [٦] |
| ٦ | دانه بندی / عدد SPT | مدل تنش کل | استانداردهای فنی برای تأسیسات ساحلی [۷] |
| ۷ | آزمایش سه محوری سیکلی | مدل تنش کل | [۸ Seed and Idriss], [۹ Ishihara] |
| ۸ | آزمایش سه محوری سیکلی | مدل تنش مؤثر | [۱۰ Finn et al.], [۱۱ Iai et al.] |

جدول ۲-۱: تقسیم بندی روشهای مختلف ارزیابی پتانسیل روانگرایی

دراین روش به دسته بندی مناطق براساس داده های زمین شناسی و زمین ریخت شناسی (ژئومورفولوژی) همانند مسیر رودخانه های قبلی، سیل بندهای طبیعی وباتلاقها نیاز داریم که برای نواحی که انجام آزمایشات برجا مثلSPT و آزمونهای آزمایشگاهی با مشکلاتی همراه است، مناسب خواهد بود.

اساس روشهای مبتنی بر دانه بندی وعدد SPT ارزیابی پتانسیل روانگرایی با مقایسه مقاومت روانگرایی ارزیابی شده از دانه بندی وعدد SPT خاک با نسبت تنش برشی (یعنی نسبت تنش برشی ایجادشده توسط زلزله بر تنش موثرعمودی) ناشی از زلزله می باشد.درصورتیکه نسبت تنش برشی ایجادشده از مقاومت روانگرایی خاک بیشتر شود، روانگرایی پیش بینی می شود وگرنه عدم روانگرایی پیش بینی خواهد شد.

در میان روشهای مبتنی برآزمایشات سه محوری سیکلی، روش مبتنی بر تنش(بند۷ جدول ۲-۱) تنش برشی ناشی از زلزله را ارزیابی می کنند وازاضافه فشار آب منفذی در حین لرزش صرفنظر می کنند. در روش مبتنی بر تنش موثر (بند۸ جدول ۲-۱) فشار آب منفذی در حین لرزش زلزله افزایش می یابد وبنابراین اضافه فشارآب منفذی یکی از خروجیهای مختلف درمحاسبات پدیده روانگرایی می باشد. مدل تنش کل زمانی استفاده می شود ایجاد پدیده روانگرایی حتمی یا منتفی پیشبینی شود. درحالی که مدل تنش موثر بمنظور پیشبینی گسترش روانگرایی یا نسبت اضافه فشارآب منفذی استفاده می شود.

## بررسی ها وروشهای آزمایش

مقاومت روانگرایی خاک توسط یک آزمون آزمایشگاهی مانند آزمایش سه محوری سیکلی تعیین می شود. ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک را ابتدا می توان توسط آزمایش SPT انجام داد. این روش درپیش بینی روانگرایی با استفاده از منحنی دانه بندی وعدد SPT انجام می شود. زمانی که ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از دانه بندی وعدد SPT مشکل باشد،بررسیهای تکمیلی با استفاده از انجام آزمایشات سه محوری سیکلی روی نمونه های دست نخورده انجام می شود. نتایج آزمایش سه محوری همچنین می تواند به منظور کالیبره کردن نتایج ارزیابی براساس اندازه دانه ها و مقادیر SPT استفاده شود.

## نمونه گیری

بمنظور ارزیابی مقاومت روانگرایی برجا در خاکهای ماسه ای، استفاده از نمونه های دست نخورده ضروری است. نمونه گیری دست نخورده از خاک های رسی آسانتر ازآن در مورد خاکهای ماسه ای می باشد. با این وجود نمونه گیری باید با حداقل دست خوردگی از خاک ماسه ای انجام پذیرد.

استفاده از نمونه گیرهای ماسه ای وابسته به خصوصیات خاک می باشد. بهرحال بایستی برای انتخاب نمونه گیر فهم پایه ای از خواص خاک داشته باشیم. نتایج آزمایش نفوذ استاندارد SPT می تواند قبل از نمونه گیری دست نخورده از خاک ماسه ای در انتخاب نمونه گیر خیلی مفید باشد.

## قطر لوله نمونه گیر

واضح است که قطر لوله نمونه گیری باید بزرگتراز قطر نمونه استفاده شده در آزمایش سه محوری سیکلی باشد. با افزایش قطر نمونه، دست خوردگی نمونه کمتر می شود ونمونه گیری راحت تر انجام میشود.
درنمونه گیری خاکهای رسی، قطر ۷۵ میلیمتر، قطر نرمالی می باشد. در نمونه گیری هایی که امروزه برای خاکهای ماسه ای استفاده میشود، قطر۵۱تا۲۰۰میلیمترمیباشد.

## طول نمونه گیری

بمنظور انجام آزمایش سه محوری سیکلی نمونه ای با طول حداقل ۴۰ تا۶۰ سانتیمتر مورد نیاز می باشد. بدلیل اینکه حداقل ۳ نمونه (با طول ۱۰ تا۱۲,۵ سانتیمتر) در آزمایش سه محوری برای هرلایه خاک مورد نیاز می باشد. طول نمونه های ماسه های دست نخورده تابع قطر نمونه به چند درجه تقسیم می شود:

برای ماسه های تمیز با کمتراز ۵درصد ریزدانه طول نمونه باید حدود ۵ برابر قطر نمونه باشد.

خاکهای ماسه ای با ریزدانه ای حدود ۲۰ درصد می تواند با طولی در حدود ۱۰ برابر قطر نمونه گیری شود.

بنابراین اگر قطر لوله نمونه گیری ۷۵ میلیمتر باشد می توان نمونه هایی با طول ۴۰ سانتیمتر از ماسه تمیز و ۷۵ سانتیمتر برای خاک ماسه ای با درصد ریزدانه حدود ۲۰٪ تهیه کرد.

## آزمایش روانگرایی

آزمایشهای برشی سیکلی، بمنظور ارزیابی مقاومت روانگرایی خاکهای ماسه ای اشباع انجام می شود. این آزمایشها پدیده روانگرایی درحین زلزله را بااعمال برش سیکلی به خاک ماسه ای اشباع تحت شرایط زهکشی نشده شبیه سازی می کنند. آزمایشات برش سیکلی که روی خاکهای ماسه ای اشباع برای بررسی روانگرایی انجام میشود، عبارتند از: آزمایش سه محوری سیکلی ، آزمایش برش ساده سیکلی و آزمایش برش پیچشی سیکلی. هریک از این آزمایشها مزایا ومعایبی در بردارد. معمولا استفاده از آزمایش سه محوری سیکلی بیشتر متداول است. این آزمایش براساس استاندارد(JSFT ۵۴۱-۱۹۹) انجمن مکانیک خاک ومهندسی پی ژاپن با عنوان " روش آزمایش سه محوری سیکلی برای خاک" انجام می شود.

در آژمایش سه محوری سیکلی، فشارهمه جانبه موثر بصورت ایزوتروپ به نمونه دست نخورده اعمال می شود. در صورتیکه نمونه ازیک نهشته عادی تحکیم یافته باشد، فشارسلولی ایزوتروپیک ترجیحا باید با تنش موثراصلی متوسط درعمق ، جایی که نمونه از آنجا تهیه شده است، برابرباشد. این فشار به دلیل جلوگیری از اثرات بیش تحکیم یافتگی مصنوعی در آزمایشگاه می باشد.

## عوامل موثر بر مقاومت روانگرایی

عوامل موثر برمقاومت روانگرایی به شرایط بارگذاری، خاک، تنش و... تقسیم بندی می شوند. این شرایط در جدول ۲-۲ طبقه بندی شده است:

جدول ۲-۲ : عوامل موثربرمقاومت روانگرایی

| | |
|---|---|
| دامنه تنش برشی سیکلی | ۱- شرایط بارگذاری |
| شکل موج | |
| فرکانس ارتعاش | |
| نامنظمی در شکل موج | |
| برش چند جهته | |
| عکس شدن تنش برشی | |
| تراکم (تراکم نسبی) | ۲- شرایط خاک |
| منحنی توزیع دانه بندی | |
| درجه اشباع | |
| ساختار اسکلت خاک | |
| تاریخچه برش سیکلی | |
| اثر سیمانتاسیون | |
| تنش اصلی مؤثر متوسط | ۳- شرایط تنش |
| نسبت بیش تحکیم یافتگی | |
| تنش برشی اولیه | |
| ابعاد نمونه | ٤- شرایط آزمایش |
| روش آماده سازی نمونه | |
| زمان تحکیم | |
| اثر نفوذ غشاء | |
| B-value | |
| نوع و ساختار تجهیزات آزمایش | |

## شرایط بارگذاری:

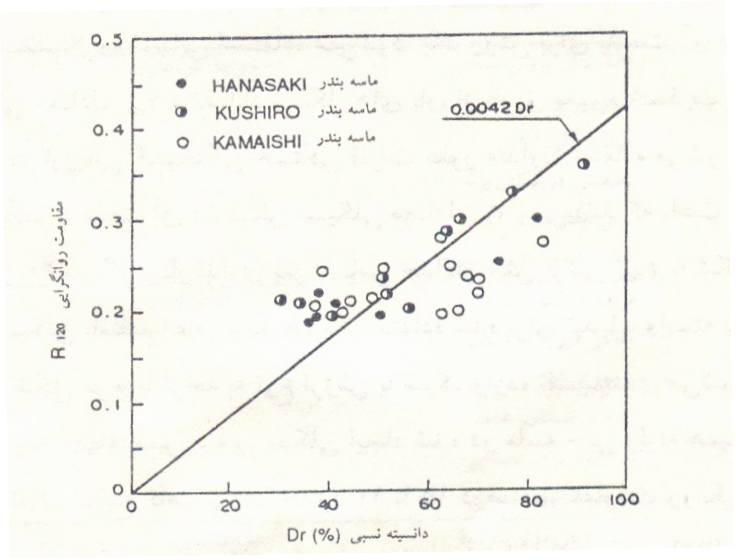
دامنه تنش: مقاومت روانگرایی تابعی از بزرگی دامنه تنش برشی سیکلی می باشد.  شکل موج: شکل موج برمقاومت روانگرایی اثر می گذارد، مقاومت روانگرایی با استفاده ازموج مستطیلی در حدود ۱۵ درصد کمتر از مقاومت روانگرایی با استفاده از موج سینوسی است.

فرکانس: از اثر فرکانس درمحدوده فرکانس های وابسته به زلزله بر مقاومت روانگرایی می توان صرفنظر کرد.
برش چند جهته: تنش برشی سیکلی ایجاد شده درماسه حین زلزله، همیشه یک جهته نمی باشد. نتایج کاهشی در حدود ۱۰ تا۱۵ درصد درمقاومت روانگرایی درمقایسه با حالتی که برش سیکلی بصورت یک جهته است را نشان می دهد.

عکس شدن تنش برشی: بدلیل اینکه تعدادی از عوامل وابسته به اثر تنش برشی معکوس در مقاومت روانگرایی به روشنی قابل فهم نیست، برای لایه های افقی خاک آزمون های آزمایشگاهی $T_0 = 0$ را در نظر می گیرند.

## شرایط خاک:

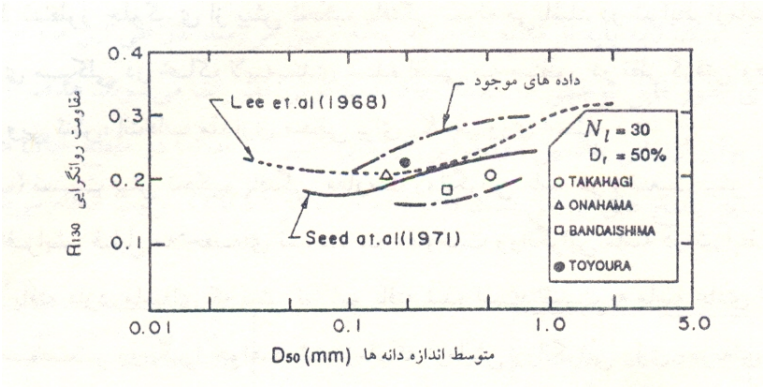
**تراکم:** مقاومت روانگرایی وتراکم نسبی خاک برای ماسه های شل تا متوسط متناسب می باشد. این رابطه خطی در شکل ۲-۱ نشان داده شده است:




شکل ۲-۱: رابطه دانسیته نسبی و مقاومت روانگرایی

**منحنی توزیع دانه بندی:** مقاومت روانگرایی با منحنی توزیع دانه بندی تغییرمی کند. هنگامی که اندازه متوسط دانه ها ۵۰ بعنوان یک اندیس شاخص برای اندازه دانه ها استفاده می شود، مقاومت روانگرایی ماسه با متوسط اندازه دانه ۰,۱ میلیمتر کمترین مقدار می باشد. شکل ۲-۳ بیانگر تائید این مطلب می باشد.

در خاکهای ماسه ای با درصد بالای ریزدانه (کوچکتراز ۷۴ میکرون) تمایل به افزایش مقاومت درمقابل روانگرایی وجود دارد که تا به حال کاملا تائید نشده است.




شکل ۲-۳ : رابطه اندازه متوسط دانه ها ومقاومت روانگرایی

**درجه اشباع:** با کاهش درجه اشباع مقاومت روانگرایی افزایش می یابد. داشتن درجه اشباع ۱۰۰ درصد برای نمونه، هنگام انجام آزمایش روانگرایی ضروری است.

**سیمانتاسیون:** اثر سیمانتاسیون بر حلقه سیکلیک تنش واسکلت ذرات خاک محسوس بوده ودر ایجاد مقاومت روانگرایی موثر می باشد. نمونه های تهیه شده باید دست نخورده ودارای کیفیت بالا باشد.

## شرایط تنش:

**نسبت بیش تحکیمی:** مقاومت روانگرایی ماسه در وضعیت بیش تحکیم یافته افزایش قابل ملاحظه ای نسبت به مقاومت روانگرایی ماسه در شرایط عادی تحکیم یافته دارد. ماسه ای که بیش تحکیم یافته شده است، نسبت به ماسه عادی تحکیم یافته سخت تر روانگرا خواهد شد. در نظرگرفتن نسبت بیش تحکیم یافتگی درمحل به علت عدم ارزیابی دقیق آن مشکل می باشد.ارزیابی مقاومت روانگرایی درصورتیکه اثر بیش تحکیم یافتگی لحاظ نشود، تخمینی محافظه کارانه خواهد بود.

## نتایج:

ـ برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی از آزمایشات درجا نظیر SPT وآزمون های آزمایشگاهی مانند آزمایش سه محوری سیکلی استفاده می شود.

ـ آزمایش SPT برای محدوده نسبتا وسیعی از خواص خاک استفاده می شود ولی در مورد خاکهای رسی وخاکهای دارای سنگ وقلوه سنگ نتایج معتبروقابل اطمینانی بدست نمی دهد. بهمین علت درمورد این خاکها از آزمایشات آزمایشگاهی استفاده می شود.

ـ بمنظور ارزیابی مقاومت روانگرایی برجا در خاکهای ماسه ای، استفاده از نمونه های دست نخورده ضروری است. بهمین منظور استانداردهایی در زمینه نمونه گیری، قطر لوله نمونه گیر، طول نمونه گیری و... تعیین شده است.

ـ مقاومت روانگرایی ماسه درآزمایش سه محوری سیکلی، توسط رابطه بین بزرگی تنش برشی سیکلی اعمال شده وتعداد سیکل های بارگذاری بیان می شود.

ـ عوامل موثر بر مقاومت روانگرایی عبارتنداز: شرایط بارگذاری،خاک، تنش وآزمایش که هرکدام به نوعی در کاهش یا افزایش مقاومت روانگرایی تاثیر دارند.

# فصل سوم

## تقویت خاکهای با قابلیت روانگرایی

# تقویت خاکهای با قابلیت روانگرایی

**مقدمه :**

زمانی که ساختگاهی با پتانسیل روانگرایی وجود دارد، اغلب بمنظور محافظت وتامین عملکرد سازه، تقویت خاک مورد نیاز می باشد. توجه به مکانیزم روانگرایی به اندازه علت وشکل خسارت وارد به سازه ها دارای اهمیت است. تقویت ساختگاه در برابر روانگرایی می تواند به دو بخش زیر دسته بندی شود:

۱–مقابله با روانگرایی با بهسازی خاک

۲_ مقابله با روانگرایی در تعامل با طراحی سازه

در عمل ترکیبی از این دو روش اغلب مناسب بنظر می رسد.

## روشهای تقویت درمقابل روانگرایی :

### الف) تراکم

روشهای مبتنی بر تراکم بمنظور بالابردن مقاومت خاک ومتراکم کردن خاک ماسه ای با استفاده از ضربه وارتعاش بطور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد. این روش معمولا فشارخاک را افزایش می دهد وباعث ارتعاش وایجاد سروصدا حین تراکم می شود. بنابراین اثر تراکم روی خاک مجاور و سازه های همسایه حین اجرای روش قابل ملاحظه است، بعلاوه زمانی که درصد ریزدانه خاک زیاد باشد، تراکم مشکل است. تراکم لایه خاک بعنوان یک روش اجرای تقویت درمقابل روانگرایی با استفاده از میله فولادی یا غلاف فولادی برای اعمال نیرو به شن وماسه خاک با قابلیت روانگرایی واعمال ارتعاشات قوی در این خاکها بکار می رود.

### ب) استهلاک فشار آب منفذی

درمقابله با روانگرایی مبتنی بر استهلاک فشارآب منفذی، سرعت کاهش اضافه فشارآب منفذی تولید شده در خاک ماسه ای حین زلزله افزایش یافته وبا استفاده از اجرای شمع های زهکشی، اضافه فشار آب منفذی کاهش می یابد.

روش زهکشی باعث کاهش لرزش وسر وصدا می شود وهمچنین تاثیرروی محیط اطراف را به حداقل می رساند که این مزایا از برتری های روش زهکشی در مقایسه با روش تراکم می باشد.

این روش اغلب زمانی استفاده می شود که اجرای روشهای دیگر مانند تراکم مشکل باشد. بعنوان یک راهکار برای تقویت روانگرایی، زهکشی آب از طریق یک شمع می باشد که این روش اثر استهلاک اضافه فشارآب حفره ای را با مقاومت شمع ترکیب می کند. در خاکهای با نفوذ پذیری پائین ودرصد بالای ریزدانه، کاربرد روش زهکشی مشکل است.

## ج) سیمانتاسیون وجامد سازی

سیمانتاسیون از جمله روشهای اجرای تقویت روانگرایی می باشد که شامل روشهای مخلوط عمیق و روش پیش مخلوط می باشد.

روش مخلوط عمیق با اختلاط مواد تثبیت کننده مثل سیمان در خاک ماسه ای وجامد سازی خاک باعث ایجاد مقاومت در برابر روانگرایی می شود. این روش حتی برای مقاوم سازی خاک زیر سازه های موجود نیز بکارمی رود. در این روش با مقید کردن تغییرشکلهای برشی، خاک زیر ساختمان از طریق ایجاد دیوار زیرزمین درمقابل روانگرایی تقویت می شود. بعبارت دیگرتقویت روانگرایی در این شرایط امکان خواهد داشت حتی زمانی که خاک با امکان روانگرایی در زیرسازه های موجود، مثل یک خاکریز وجود داشته باشد. دراینصورت پیرامون سازه یک دیوار بهسازی شده اجرا می شود.

دراین روش مصالح تثبیت کننده مثل سیمان با خاک مخلوط وسخت می شود. دو رویکرد وجود دارد: یکی بهسازی وجامد سازی همه خاک ودیگری بهسازی جزئی، که یک دیوار جامد در خاک ایجاد می شود. تاثیر این روش روی محیط اطراف حداقل می باشد.

روش پیش مخلوط با اضافه کردن مصالح تثبیت کننده به خاک وماسه از قبل و ریختن خاک بهسازی شده در آب با لوله های ترمی یا بارج های مخصوص انجام می شود. با انجام تقویت در مقابل روانگرایی، بعد از جایگزینی خاک مخلوط ، روشی مثل تراکم مورد نیاز نبوده و دوره زمانی ساخت کاهش می یابد.

در این روش، درمحل مورد نظر، مدفنی با اضافه کردن یک مصالح تثبیت کننده مثل سیمان از قبل با خاک مخلوط می شود وتقویت روانگرایی بدنبال ایجاد مدفن نیاز نمی باشد. واز آنجائیکه خاک با یک مصالح تثبیت کننده مخلوط شده و در آب ریخته می شود، کنترل کیفیت آب مورد نیاز می باشد.

دراین روش، دوره ساخت بدلیل اجرای همزمان تقویت در برابر روانگرایی وخاکریزی کاهش یافته وبهسازی می تواند در حجم بزرگی انجام شود.

عواملی که در روش سیمانتاسیون و جامد سازی باید مورد توجه قرارگیرند، کنترل کیفیت بهسازی مقطع خاک، کنترل مخلوط مصالح تثبیت کننده وکنترل کیفیت آب منطقه می باشد.

## د) جایگزینی

روشی است که درآن خاک محل با مصالحی که پتانسیل روانگرایی ندارد، جایگزین می شود. شن وخاک مخلوط شده با سیمان، مصالحی بدون قابلیت روانگرایی می باشند که در روش جایگزینی برای مقابله با روانگرایی استفاده می شوند. در اجرای این روش ارزیابی وکنترل پایداری خاکبرداری در حین جایگزینی ضروری است. همچنین نیاز به مدیریت خاکبرداری خاک وماسه می باشد.

## ه) پایین آوردن سطح آب زیرزمینی

تقویت در برابر روانگرایی از طریق پایین آوردن سطح آب زیرزمینی براساس غیراشباع ساختن خاک، پایین آوردن سطح آب زیرزمینی وافزایش تنش موثر در خاک زیرسطح آب زیرزمینی بدست می آید.

دراین روش، سطح آب همواره باید پایین نگهداشته شود. بنابراین هزینه اصلی آن بهره برداری ونگهداری سیستم پمپاژ آب ازعمق چاه می باشد که باید مد نظر قرار گیرد.

## و) مقید کردن کرنش برشی

درروش اجرای تقویت براساس مقید کردن کرنش برشی، با اجرای دیوار زیرزمینی پیوسته زیر سطح زمین، کرنش برشی در حین زلزله مقید می شود. این روش به سادگی، خاک با قابلیت روانگرایی را با دیوار پیوسته ای احاطه می کند وبنابراین در مورد سازه های موجود، برای خاک درعمق، جائی که تقویت در برابر روانگرایی با دیگر روشها مشکل است، می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

## ی) پیش بارگذاری

افزایش مقاومت در مقابل روانگرایی از طریق روش پیش بارگذاری با بیش تحکیم یافته کردن خاک توسط سربار خاکریز امکان پذیر است. این روش را می توان درخاکهای با درصد بالای ریزدانه بکاربرد. همچنین می توان پیش بارگذاری را با بیش تحکیم کردن خاک از طریق پایین بردن سطح آب زیرزمینی حتی زیر سازه های موجود اعمال کرد.

# فصل چهارم

## اثر سیمانتاسیون بر روانگرایی خاکهای ماسه ای

# اثر سیمانتاسیون بر روانگرایی خاکهای ماسه ای

**مقدمه:**

سیمانتاسیون درماسه ها می تواند بصورت طبیعی وجود داشته باشد ویا بصورت مصنوعی اضافه شود. مشهود است که سیمانتاسیون باعث افزایش مقاومت ماسه در برابر روانگرایی می شود ومی تواند یک فاکتور بحرانی در تصمیمات مهندسی باشد. این برآورد مستلزم آزمایش روی ماسه های ضعیف سیمان شده در محدوده های مختلف سطوح سیمانتاسیون و وزن مخصوص است. برای این منظور آزمایشهایی انجام گرفته ونتایج آزمایشگاهی به منظور بررسی اثرات جداگانه وزن مخصوص وسیمانتاسیون بکار گرفته شده اند.

نکته دیگری که می بایست دراین خاکها مورد توجه قرار گیرد، اثرات مثبت سیمانتاسیون است که تحت انواع خاص حالات پیچیده تنش کاهش می یابد. به همین منظور آزمایشهای سه محوری روی نمونه های سیمان شده انجام شده است.

## سابقه تحقیقات اثر سیمانتاسیون بر روانگرایی خاکهای ماسه ای:

درسالهای گذشته تحقیقات وسیعی به منظور توصیف رفتار ماسه های سیمان شده تحت بارگذاری استاتیکی انجام شده است. در ماسه های طبیعی سیمان شده، عامل سیمانتاسیون عموما رس، لای، اکسیدهای آهن وسیلیکات می باشد. نتایج این تحقیقات نشان می دهد که این نوع خاکها حساس ومستعد به هم خوردگی بوده وتعدادی از آنها تحت تاثیر این فاکتور قرار گرفته اند. با این وجود،درهمه مطالعات موارد زیر درماسه های سیمان شده مشاهده می شود:

۱_ خاکها چسبندگی مشخصی داشته و اصولا یک پوش گسیختگی موهر- کولمب خطی را از خود نشان می دهند. همچنین در مناطق تنش کششی مقاومتهای کوچکی دارند.

۲- زوایای اصطکاک پوش گسیختگی دارای محدوده یکسانی همانند ماسه سیمان نشده است.

۳- گسیختگی ماسه ها در تنشهای محدود کننده پایین با شکنندگی همراه است اما درتنشهای محدود کننده بزرگتر، ماسه تمایل به چکش خوارگی پیدا می کند.

۴- عموما اثر سیمانتاسیون درماسه های گرد گوشه نسبت به ماسه های زاویه دار کمتر است.

۵- با استفاده از مواد مناسب می توان ماسه های مصنوعی سیمان شده ای را ساخت که مشابه مدل ماسه های طبیعی سیمان شده رفتار کنند.

مورد پنجم از این جهت اهمیت دارد که می توان از طریق تحقیقات آزمایشگاهی و ساخت ماسه های مصنوعی سیمان شده با خواص مطلوب، مشکل بدست آوردن نمونه های ماسه طبیعی سیمان شده را رفع نمود.

اگرچه آزمایشهای دینامیکی نسبت به استاتیکی برای ماسه های سیمان شده کمتر انجام پذیرفته، اما تمایل به انجام این آزمایشها رشد زیادی یافته است. تحقیقات با استفاده ازدستگاه تنش سه محوری با بارگذاری سیکلی و درموارد کمتری از دستگاه برش ساده وستون تشدید انجام پذیرفته است. نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده برای بررسی مقاومت روانگرایی خاکهای ماسه ای بصورت زیر خلاصه می شود:

۱ ) ماسه سیمان شده غیرمتراکم، از جهات متعددی عکس العمل مشابه با ماسه سیمان شده متراکم دارد.

۲) با افزایش سیمانتاسیون، مقاومت در برابر روانگرایی افزایش می یابد.

۳) لنزهای ضعیف در ماسه های به شدت سیمان شده باعث کم شدن مقاومت در برابر روانگرایی می شود.

## روانگرایی ماسه های طبیعی سیمان شده

درتعریف روانگرایی،برای بررسی نتایج چندین تقریب درنظر گرفته شده است. روانگرایی اولیه زمانی رخ می دهد که فشار آب اضافی به ۱۰۰٪ فشار همه جانبه برسد. اگرچه ماسه های طبیعی سیمان شده (ماسه هایی که از دریا گرفته شده اند) نرم بوده وبراحتی خرد می شوند، اما ثابت شده است که در مقایسه با ماسه های سیمان نشده، مقاومت بیشتری در برابر روانگرایی از خود نشان می دهند.

## ارتباط سیمانتاسیون ودانسیته درماسه های مصنوعی سیمان شده:

دو نکته اساسی درهنگام بررسی ماسه های سیمان شده وجود دارد که در ماسه های سیمان نشده چندان اهمیت ندارند، اولین نکته، تراکم نسبی ماسه می باشد. درماسه های سیمان نشده تعریف واضحی برای تعیین این پارامتر وجود دارد حتی اگر مشکلات تجربی در تعیین آن وجود داشته باشد. درماسه های سیمان شده تعیین تراکم نسبی با مشکلات عملی همراه است وهیچ راهی برای تشخیص آن وجود ندارد. همچنین از بابت بکاربردن مفاهیم نمی توان اطمینان داشت.

برای تعیین تراکم نسبی یک ماسه سیمان شده می بایست ذرات خاک را ازهم جدا نمود. اما این عمل منجر به شکست مواد سیمان شده، افزایش مواد ریزدانه به توده خاک غیردانه ای و جداشدن دانه ها می شود. دراین فصل بجای بکارگیری از دانسیته نسبی برای نمونه های مصنوعی سیمان شده، از وزن مخصوص خشک به عنوان پایه مقایسه استفاده می شود.

از مواردی که باید مورد توجه قرار گیرد، آن است که ذرات سیمان پرتلند در نمونه های مصنوعی سیمان شده که شامل ۱٪ تا ۲٪ وزن کل نمونه هستند، چگونه باعث تغییر حجم دربرش زهکشی شده وبه دنبال آن افزایش فشارحفره ای در برش زهکشی نشده می گردد.

زاویه اتساع ماکزیمم این ماسه ها بیشتر ازماسه های غیرسیمانه است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که اگرچه سرعت تغییر حجم آنها در هنگام گسیختگی طی مراحل برش می تواند بیشتراز ماسه های سیمان نشده باشد، اما تغییر حجم ماسه های سیمان شده وسیمان نشده با دانسیته برابر درهنگام گسیختگی یکسان هستند.

نکته دوم که درماسه های سیمان شده اهمیت دارد، درصد سیمان به نسبت وزن نمونه می باشد. نمونه های متراکم تر سیمانتاسیون بیشتری دارند، ازاین رو وزن مخصوص وسیمانتاسیون پارامترهای مستقلی نیستند. در حقیقت در حالت متراکم تر، یا سیمانتاسیون اثر بیشتری دارد ویا اینکه سیمان بیشتری وجود دارد. علت آن است که در نمونه متراکم چون وزن مخصوص بیشتر است، سیمان بیشتری برای یک درصد خاص نسبت سیمان به وزن، مورد نیاز است. بنابراین تنها در نظرگرفتن مقدار سیمان در ماسه برای تعیین مقاومت یا سطح سیمانتاسیون کافی نیست ومی بایست دانسیته نیز مشخص باشد..

## نتایج:

ماسه های سیمان شده نسبت به ماسه های سیمان نشده مشخصات منحصر به فردی دارند. این ماسه ها زمانی که خاک اشباع باشد وبارگذاری لرزه ای وجود داشته باشد، می توانند روانگرا شوند اما مقاومتشان دربرابر روانگرایی بیشتر از ماسه های سیمان است. بنابراین دربعضی موارد که رسوبات ماسه ای طبیعی سیمان شده با درجه کم سیمانتاسیون موجود می باشد، می توان با اضافه کردن سیمانتاسیون مناسب، مقاومت آنرا بالا برد.

دراین تحقیق سعی شده است که اطلاعات مربوط به نقش سیمانتاسیون روی مقاومت روانگرایی ماسه ها اصلاح شود. موارد زیر، نتایج حاصل ازاین بررسی می باشند:

۱ – افزایش وزن مخصوص وسیمانتاسیون اثرات مشابه ای روی مقاومت روانگرایی دارند. با این وجود، زمانی که سیمانتاسیون به یک حد بحرانی می رسد، اثرات وزن مخصوص را تحت الشعاع قرار می دهد

۳– وجود لایه ضعیف ماسه سیمان شده دریک توده قوی تر سبب کاهش مقاومت آن توده در برابر روانگرایی می گردد. این مورد در سطوح بالای تنش اثر بیشتری دارد.

# فصل پنجم

## اثر ذرات رس به عنوان یک عامل سیمانتاسیون بر روانگرایی خاکها

# اثر ذرات رس به عنوان یک عامل سیمانتاسیون بر روانگرایی خاکها

**مقدمه:**

زمین لرزه یک مصیبت طبیعی است که هرساله در جهان اتفاق می افتد. مهندسین از خرابی ساختمانها به سبب روانگرایی ماسه اشباع آگاهی دارند واین موضوع اهمیت ویژه ای دردینامیک خاک دارد. بعد از فاجعه زمین لرزه Tangshan (۱۹۷۶) در چین، مهندسین دریافتند که نه تنها خاکهای دانه ای، بلکه اغلب خاکهای حاوی مقدار زیادی ریزدانه خمیری نیز دچار روانگرایی می شوند.

دراین فصل نتایج تجربی وآنالیز روانگرایی ماسه وسیلت ارائه شده است. تستهای آزمایشگاهی روی نمونه های خاک بازسازی شده انجام گرفته است تا پارامترهای اصلی موثر بر رفتار روانگرایی ماسه وسیلت بدست آیند. نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که یکی از فاکتورهای اساسی موثر بررفتار روانگرایی خاکها، درصد ذرات رس می باشد.

## دستگاه آزمایش وآماده سازی نمونه :

دراین آزمایش ازدستگاه سه محوری سیکلی نوع کنترل تنش استفاده می شود. مشخصات این دستگاه بصورت زیر می باشد:

۱- فرکانس: ۰,۱-۱ HZ

۲- فشارعمودی ماکزیمم: ۲۵ KN

۳- فشار محدود کننده ماکزیمم: ۱ Mpa

۴- ارتفاع نمونه: ۱۰ cm

۵- قطر نمونه: ۵ cm

همه نمونه ها بازسازی شده اند. آزمایشهای انجام شده به دو گروه تقسیم می شوند: گروه اول شامل ماسه با مقداری ریزدانه بوده وگروه دوم از نمونه سیلتی با ذرات ریزدانه متفاوت تشکیل شده است. درگروه اخیر اثر زمان در نظر گرفته می شود.

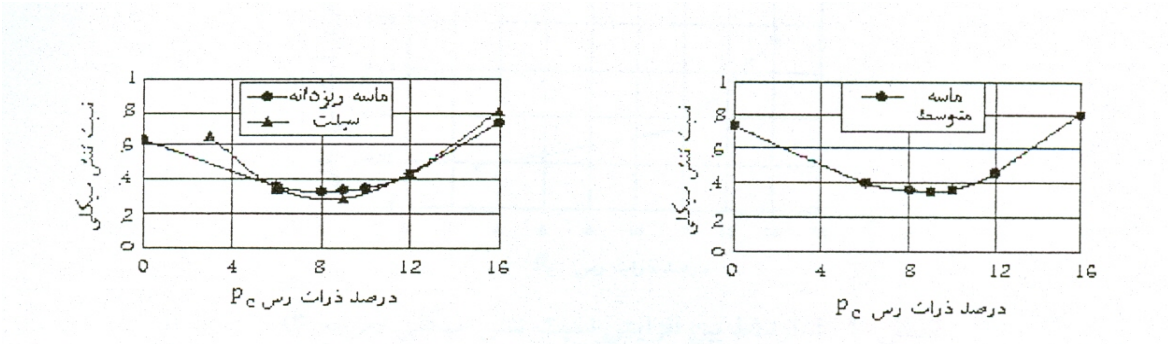
با توجه به اینکه نمونه های گرفته شده شامل ماسه، سیلت ورس می باشند، می توان با دردست داشتن دانسیته، مقدارذرات رس ودرشت دانه، نمونه ها را بازسازی کرد. در جدول ۵-۱ تعدادی ازنمونه های آزمایش ارائه شده است.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار ذرات رس (٪) | | ۰ | ۳ | ٦ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۲ | ۱٦ |
| ماسه متوسط | | ٤ | ۰ | ٤ | ٤ | ٤ | ۳ | ۳ | ۳ |
| ماسه ریز | | ٤ | ۰ | ٤ | ٤ | ٤ | ۳ | ۳ | ۳ |
| سیلت | ۰ روز | ۰ | ۳ | ۳ | ۰ | ۳ | ۰ | ۳ | ۳ |
| | ٦۰ روز | ۰ | ۳ | ۳ | ۰ | ۳ | ۰ | ۳ | ۳ |
| | شاخص خمیری | - | ۸/۵ | ۸/۷ | - | ۸/۹ | - | ۹/٦ | ۹/۹ |

جدول ۵-۱ (مرجع۳)

## اثر درصد ذرات رس بر رفتار روانگرایی خاک

مشهود است که وجود ذرات ریزدانه یک عامل پراهمیت در روانگرایی ماسه یا سیلت است. به منظور ارزیابی اثر ذرات رس روی نسبت تنش سیکلی، آزمایشهای سه محوری دینامیکی روی ۸ گروه خاک شامل ۶۵ نمونه با ذرات رس متفاوت انجام گرفته و نتایج حاصل درشکل۵-۱ نشان داده شده است.




شکل ۵-۱: ارتباط بین نسبت تنش سیکلی ودرصد ذرات رس (مرجع ۳)

ازنتایج آزمایشها می توان دریافت که با افزایش ذرات رس، نسبت تنش سیکلی بطور یکنواخت افزایش نمی یابد. اما بعد از یک مینیمم ٪۹ = Pc ، نسبت تنش سیکلی با افزایش با افزایش Pc زیاد می شود. معادلات زیر برای خاکهای مختلف ارائه شده است. این معادلات ارتباط Pc و نسبت تنش سیکلی را نشان می دهد:

ماسه متوسط : $Y = ۰,۹۹ - ۰,۱۳۳\ Pc + ۰,۰۰۷۴\ (Pc)$

ماسه ریزدانه : $Y = ۰,۵۲ - ۰,۰۶۴\ Pc + ۰,۰۰۴۸\ (Pc)$

سیلت : $Y = ۱,۰۶ - ۰,۱۸۹\ Pc + ۰,۰۱۱۵\ (Pc)$

## نتایج:

با توجه به آزمایش تجربی انجام شده می توان دریافت که درصد ذرات رس با ظرفیت مقاومت روانگرایی، رابطه خطی ندارد ومقدار مینیمم ظرفیت مقاومت روانگرایی عموما در ٪۹ = Pc حاصل می شود.

مطالعات آزمایشگاهی روانگرایی نشان می دهد که مقاومت برشی سیکلی ماسه متوسط بیشتر از ماسه ریزدانه با همان درصد رس موجود درماسه متوسط می باشد. این مسئله اهمیت ذرات درشت دانه درمقاومت روانگرایی ماسه را نشان می دهد.

# فصل ششم

## روش های اجرای سیمانتاسیون

## روشهای اجرای سیمانتاسیون

**مقدمه:**

همانطورکه درفصل سوم ذکرشد، سیمانتاسیون یکی از روشهای تقویت درمقابل روانگرایی است که شامل روشهای مخلوط عمیق وپیش مخلوط می باشد. در روش مخلوط عمیق با اختلاط مواد تثبیت کننده مثل سیمان درخاک ماسه ای وجامد سازی خاک باعث ایجاد مقاومت در برابر روانگرایی می شوند.

در روش پیش مخلوط، مقدارکمی از مصالح تثبیت کننده ویک ماده مضاف شیمیایی با خاکریزی وپشته ریزی در داخل سازه ای محفظه ای بمنظور بدست آوردن یک مصالح پرکننده جدید بدون روانگرایی با یکدیگر مخلوط می شوند. این مصالح بعد ازفرآیند تبدیل به یک مصالح جدید حمل شده ودرمحل مورد نظر، ناحیه ای تثبیت شده ایجاد می کنند.

## اصول وکاربرد روش پیش مخلوط

اصول این روش جلوگیری از ایجاد روانگرایی با ایجاد سیمانتاسیون بین ذرات خاک ازطریق استفاده ماده ای تثبیت کننده مثل سیمان می باشد.

عموما مقاومت برشی خاک Tf مبتنی برمعیار موهر– کولمب می باشد:

$$Tf = C + (\sigma - U) TgQ$$

که در آن:

C : چسبندگی

Q : زاویه اصطکاک داخلی

σ : تنش عمودی کل روی صفحه برش

U : فشارآب منفذی اضافی ، می باشد.

برای یک خاک ماسه ای، ۰= C می باشد. زمانی که اضافه فشارآب منفذی تولید شده درزلزله به اندازه ای باشد که U= σ شود، روانگرایی اتفاق افتاده ومقاومت برشی صفر می شود. زمانی که C با سیمانتاسیون اضافه می شود، مقاومت برشی به مقدارصفر کاهش نمی یابد وروانگرایی ایجاد نمی شود حتی اگر U= σ شود. بعلاوه تراکم حجمی اسکلت خاک (اتساع منفی) تا حدی با سیمانتاسیون محدود می شود که باعث می شود افزایش اضافه فشار آب منفذی متوقف شود.

دراین روش مصالح ماسه ای که در اجرای خاکریز برای احیاء اراضی نهشته شده است، بعد از فرآیند به ماده جدیدی بهسازی می شود که تحت روانگرایی قرارنمی گیرد. درنتیجه، این روش می تواند به اغلب ساختگاههای احیاء شده بصورت متداول که درآنها ازمصالح ماسه ای بدون هیچ فرآیندی استفاده شده باشد، اعمال گردد.

از آنجایی که روش اجرا وخواص ماسه بهسازی شده ازلحاظ کاربرد متفاوت می باشد، روش باید تنها بعد از اجرای آزمایشگاهی و صحرایی بطور آزمایشی وداشتن توجه کافی به اختلاف شرایط اجرا انجام شود.

## خصوصیات روش پیش مخلوط

### عواملی که باعث مزیت این روش می شود عبارتند از:

۱- مقاوم سازی درمقابل روانگرایی بعد از کامل شدن خاکریزی دیگر مورد نیازنیست. دوره کاری کوتاه شده وهمچنین نیروی کاری کاهش می یابد.

۲- خاکریزی با یک نوارنقاله، شوت یا جایگزینی مستقیم با استفاده از یک بارج وریختن درعمق برای اجرا درمحل های آبی عمیق انجام می شود.

۳- مقاومت خاک بهسازی شده می تواند بهینه شود.

۴- برای تاسیسات ومخازن موجود می تواند براحتی مورد استفاده قرار گیرد بدون اینکه نیاز به تجهیزات اجرایی خاصی باشد.

۵- علاوه برمقابله با روانگرایی، می توان انتظارداشت که اثرفشارجانبی خاک کاهش یافته ودرنتیجه ابعاد سازه در معرض فشار خاک مثل دیوار ساحلی پرده سپری کاهش یابد، بنابراین از لحاظ اقتصادی می تواند قابل ملاحظه باشد.

۶- هیچ اثر سوئی برپرده سپرهایی که خاک پشت آنها متراکم شده است، وجود ندارد.

۷- از لایروبی ماسه بطور موثر استفاده می شود.

**درعین حال این روش معایب زیررا دارا می باشد:**

۱- تغییرات مقاومت مقطع خاک بهسازی شده وابستگی زیادی به نوع ماسه ومراحل جایگزینی دارد.
۲- با تثبیت مصالح مقداری هزینه اضافی به پروژه تحمیل می شود.
۳- باید اثرات ومشکلات زیست محیطی نظیر این روش بر کیفیت آبهای محل بررسی شود.
۴- استفاده ازاین روش به حفاری یا جایگزینی خاک و زمینهایی که به تازگی احیاء شده، محدود می شود.

## مراحل طراحی

این روش از روشهای مقاوم سازی متداول در مقابل روانگرایی که معمولا بعد از احیاء به خاک اراضی اعمال می شود، متفاوت می باشد. دراین روش رفتار مصالح جایگزین شده در ناحیه ای که احیاء می شود، ازنظر کنترل کیفی وهمچنین ازنظر مقاومت بهسازی همچنانکه عملیات احیاء پیشرفت می کند، تحت کنترل می باشد. بطوریکه نواحی با مقاومت مطلوب بلافاصله بعد از کامل شدن عملیات احیاء بدست می آید. بنابراین در زمان طراحی ناحیه ای که باید احیاء شود وجود ندارد. مقاومت ماسه بهسازی شده در منطقه در برابر فشارهای خاک وهمچنین ایجاد ظرفیت باربری وجلوگیری ازروانگرایی نواحی احیاء شده جدید باید با توجه به امکانات موجود ونوع سازه ای که درآنجا احداث می شود، مورد توجه قرارگیرد.

معمولا درصد سیمان مصرفی که شرایط طراحی را برآورده کند درنظر گرفته شده و هزینه اجرایی آن تخمین زده می شود. مقاومت وبهسازی خاک وابسته به درصد سیمانی است که استفاده می شود. معمولا درصدهای متفاوتی از سیمان مضاف مورد آزمایش قرارگرفته ودرصد مناسب سیمان با توجه به مسائل طراحی، اجرایی واقتصادی تعیین می شود.

## آزمایش وبررسی خاک

با توجه به جدید بودن استفاده از روش پیش مخلوط برای اجرای نواحی احیاء شده، انجام آزمایش مصالح خاکریزی قبل وبعد از بهسازی ضروری است. همچنین تخمین مقدارعدد SPT برای نواحی احیاء شده مورد نیاز می باشد. بمنظور ارائه یک طرح مناسب، ارزیابی رابطه بین چسبندگی، تراکم، درصد سیمان مضاف وفهم خصوصیات خاکریز بهسازی شده وبهسازی نشده از عمده ترین مسائلی می باشد که پرداختن به آن اجتناب ناپذیر است.

با توجه به اینکه ماسه بهسازی شده شکننده می باشد، لذا بمنظور اطمینان از عدم ایجاد ترک در مصالح، نمونه گیری باید دست نخورده باشد. ارزیابی ماسه بهسازی شده بعد از جایگزینی در محل ونهشته شدن آن تعیین می شود که بدین منظور آزمایشاتی از قبیل سرعت امواج الاستیک، آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) وآزمایش فشاری محدود نشده روی نمونه های دست نخورده انجام می شود.

## آزمایش برای تعیین نسبت اختلاط:

### الف) روانگرایی مصالح پرکننده

درصد سیمان مورد نیازمضاف برای بهسازی بمنظور ایجاد مصالحی که با توجه به نوع خاک، تحت روانگرایی قرارنگیرد، با انجام آزمایش اختلاط تعیین می شود. براساس نتایج موجود، در صورتیکه درصد سیمان مضاف درحدود ۵ درصد باشد، روانگرایی اتفاق نخواهد افتاد. همچنین در صورتیکه مقاومت فشاری محدود نشده بین (kgf/cm2) 0.5~1 باشد، آن خاک تحت روانگرایی قرار نخواهد گرفت.

درآزمایش سه محوری سیکلی روانگرایی در نمونه بهسازی شده با درصد کمی از سیمان مضاف مشاهده نمی شود ونمونه در وضعیت اولیه جامد خود باقی می ماند. مگراینکه گسیختگی ازطریق باریک شدن نمونه گسترش یابد

برای ماسه بهسازی نشده (نسبت تنش برشی سیکلی $T/\sigma_c$ = ۰,۱۲) یک مدل تیپ روانگرایی نشان داده شده است که درآن نسبت اضافه فشارآب منفذی وکرنش محوری بطور ناگهانی افزایش می یابد. برای ماسه بهسازی شده (نسبت تنش برشی سیکلی $T/\sigma_c$ = ۰,۸) کرنش محوری باقیمانده برروی وجه کششی آن افزایش می یابد. نسبت فشارآب منفذی نیز از ماسه بهسازی نشده متفاوت بوده واضافه فشارآب منفذی منفی ایجاد می شود. این نمونه حتی بعد از آزمایش در وضعیت جامد باقی مانده ووضعیت روانگرایی درآن مشاهده نمی شود، درحالیکه ذرات ماسه بصورت پراکنده مشاهده می شود.

## ب) درصد سیمان

ارتباط میان درصد سیمان مضاف ومقاومت ماسه بهسازی شده از آزمونهای آزمایشگاهی بدست می آید. تعداد روزهای عمل آوری ماسه بهسازی شده ۲۸ روز می باشد. توصیه می شود که مقاومت ماسه بهسازی شده از آزمایش فشاری سه محوری فراهم شود. اما با استفاده از آزمایش فشاری محدود نشده نیز می توان چسبندگی اضافه شده را بطور مناسب بدست آورد. درصد سیمان مورد نیاز وابسته به چسبندگی تعیین شده از آزمونهای آزمایشگاهی بدست می آید. برای اجرای واقعی، تفاوت در درجه سیمان مخلوط شونده، جدایی وپراکندگی سیمان در اثر جایگزینی در زیرآب، اختلاف درمحیط عمل آوری و تراکم نهشته باعث ازدست رفتن سیمان می شود. بنابراین درصد سیمان لازم برای اجرای واقعی درمحل باید مقداری بیشتر از درصد سیمان بدست آمده از آزمایشگاه باشد. درصد سیمان مضاف بعنوان یک اندیس از رابطه بین مقاومت فشاری محدود نشده درمحل و مقاومت فشاری محدود نشده در آزمایشگاه تعیین می شود. نسبت مقاومت فشاری محدود نشده درمحل ودر آزمونهای آزمایشگاهی بصورت ضریبی با معادله زیر بیان می شود:

$$\sigma = Qul/quf$$

که در رابطه فوق:

q ul : متوسط مقاومت فشاری محدود نشده بدست آمده ازآزمایشگاه (kgf/cm2)

q uf : مقاومت فشاری متوسط در محل که با همان نسبت اختلاط آزمایشگاه بدست می آید (kgf/cm2) می باشد.

تاکنون مقاومت فشاری محدود نشده خاک بهسازی شده درمحل بین ۱/۱,۱ تا ۱/۲,۲ مقاومت فشاری محدود نشده آزمایشگاه با درصد سیمان یکسان بدست آمده است. بمنظور نگهداری مقاومت خاک درمحل برای اجرای واقعی، درصد سیمان درمحدوده های بین ۱,۱ تا ۲,۲ برابر مقدار تعیین شده برای مقدار آزمایشگاهی درنظر گرفته می شود. این دامنه وسیع تغییرات بدلیل تفاوت شرایط در محل، روش اختلاط استفاده شده در اجرا وروش جایگزینی می باشد. توصیه می شود قبل از اجرا، درصد سیمان مضاف با انجام یک آزمایش درمحل نیز تعیین شود.

## روش اجراء

### اجرای کار و امکانات:

مراحل اجرا عبارتند از:

۱- انتقال مصالح جایگزین شونده
۲- اختلاط سیمان
۳- اضافه کردن مواد جلوگیری کننده از جدایش
۴- انتقال ماسه بهسازی شده
۵- پرکردن ناحیه

با توجه به اختلاط و ناحیه ای که با مخلوط پر می شود، تعدادی از روشهای ارائه شده در جدول ۶-۱ استفاده می شود. انتخاب ترکیبی مناسب از زوشهای بیان شده بستگی به شرایط اجرا در محل دارد.

جدول ۶-۱ : روش اجراء

| روش اجراء | وسیله اجرا |
|---|---|
| روش اختلاط | اختلاط با نوار نقاله |
| | اختلاط با ماشین میکسر |
| | اختلاط با تجهیزات بزرگ |
| محل اختلاط | اختلاط روی زمین |
| | اختلاط در معرض آب |
| روش ریختن در محل | روش استفاده از انواع بارج های ته باز |
| | ریختن در محل با استفاده از بولدوزر |
| | روش استفاده از شوت |

## الف) اجرای اختلاط :

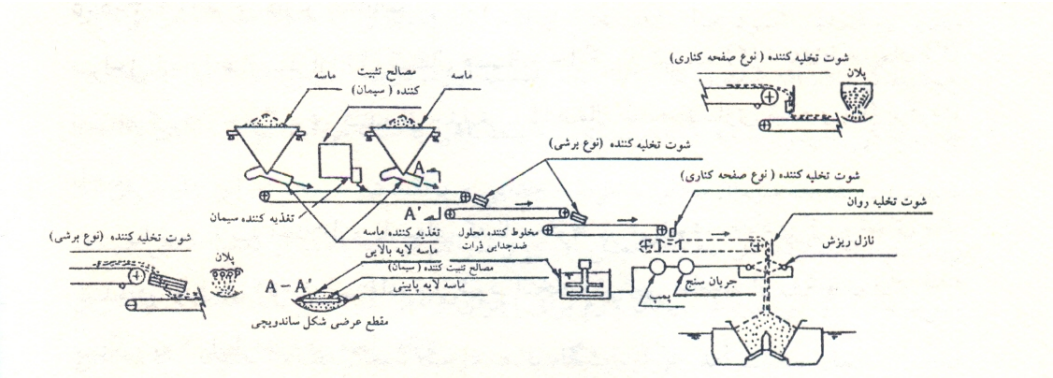
سه روش اختلاط وجود دارد:

روش مخلوط نوارنقاله با شوتهای دامپر که روی محل اتصال با هر نوارنقاله قرار دارد.(شکل ۶-۴)

استفاده از اختلاط مکانیکی با استفاده از نوعی مخلوط کننده مارپیچی یا مخلوط کننده چرخنده.

روش ماشین سنگین (استفاده از تجهیزات حفاری مثل یک بیل مکانیکی معکوس).

دراین روش، اختلاط بصورت اقتصادی و کارا اجرا می شود. درحالیکه مصالح پرکننده خشک بوده ودرصد آب از درصد رطوبت طبیعی کمتر باشد. همانگونه که درشکل ۶-۱ دیده می شود، تجهیزات ایجاد شده ترکیبی است از یکسری محفظه های ذخیره ماسه به نوارنقاله ویک نازل که از جدا شدن مصالح جلوگیری می کند.




شکل ۶-۱ : کارگاه اختلاط

مراحل اختلاط با این تاسیسات به شرح زیراست:

۱- ماسه بطور نازک از دو قیف روی نوار نقاله پهن می شود.
۲- سیمان بین لایه های نازک ماسه روی نوار نقاله ساندویچ می شود.

۳- دو نوع شوت وجود دارد، یک نوع شوت برشی و نوع دیگر شوت صفحه ای نامیده می شود که در محل اتصال هر نوارنقاله قرار دارد.

چندین مزیت برای این سیستم وجود دارد. اختلاط با حداقل انرژی انجام می شود، زیرا حین اختلاط اولیه ماسه بطور نازک پهن می شود واز پخش شدن سیمان با ساندویچ کردن آن جلوگیری شده وبا حرکت پیوسته نوارنقاله حجم بزرگی لز مصالح بطور پیوسته می تواند مخلوط شود. بدلیل این مزایا کارایی واختلاط مناسب با روش اختلاط مکانیکی قابل توجه می باشد.

دستگاه عدم جدایش مصالح باعث جلوگیری از جدایش سیمان اضافه شده از ذرات ماسه در زیر آب می شود. بدین منظور مخزنی مرتفع از آنیونهای قوی غیرسمی پلی اکریل استفاده می شود که حین تخلیه مصالح از نوارنقاله بر روی ماسه بهسازی شده اسپری می شود.

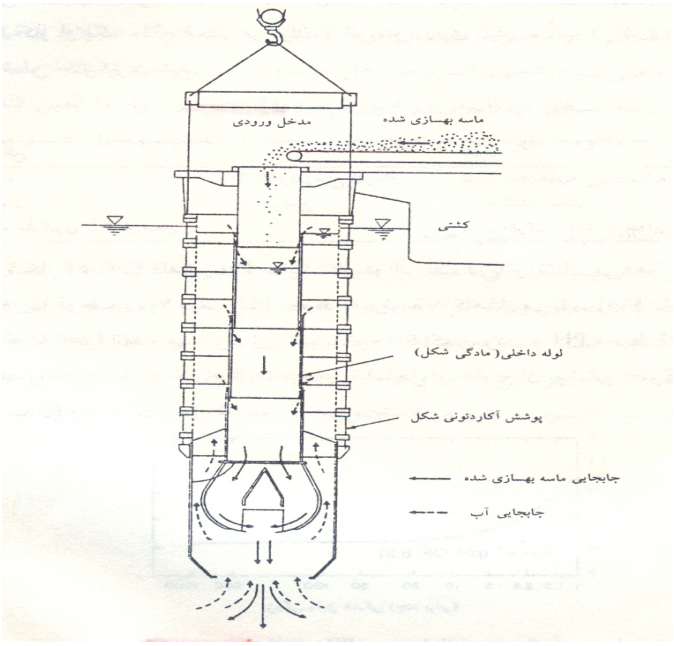
اگر مقدار ماده جلوگیری کننده از جدایش زیاد باشد، دانسیته محل احیاء شده ممکن است کاهش یابد. بطور معمول مقدار ماده جلوگیری کننده از جدایش ۵۰ تا ۱۰۰ گرم برای وزن واحد خشک (tf) ماسه بهسازی شده می باشد.

**ب) جایگزینی در محل :** چندین روش ممکن است برای جایگزینی در محل بکار گرفته شود که عبارتند از:

۱- روش گستراندن
۲- روش شوت
۳- روش جایگزینی مستقیم با استفاده از انواع بارجهای ته باز

در روش گستراندن برای احیاء نواحی از تجهیزاتی مثل بولدوزر استفاده می شود.

روش شوت روشی نسبتا موثر است که برای جلوگیری از آلودگی آب استفاده می شود. شکل (۶-۲)، شکل یک شوت درحال اجرا زیر آب را نشان می دهد. در خارج ازاین شوت پوششی شبیه کرکره ساخته شده است، لوله داخل آن از نوع تلسکوپی می باشد که می تواند با توجه به تغییرات در ارتفاع کوتاه وبلند شود وته شوت درحین اجرا همیشه بالای سطح ماسه قرار می گیرد. این روش دارای خصوصیاتی است که تا حدی قادر به جلوگیری ازکدر شدن آب وانتشار آلودگی با استفاده از پوشش بیرونی خود می باشد.




شکل ۶-۲: شوت مخصوص جایگزینی مصالح زیرآب

روش جایگزینی مستقیم، برای احیاء ناحیه ای درآب که به یک دیوار ساحلی منتهی می شود بکارگرفته می شود. این روش وروش گستراندن، روشهای متداولی می باشد که هم اکنون استفاده می شود.

## بازرسی در کار ساخت

### الف) بازرسی درحین اختلاط :

مقاومت ناحیه احیاء شده تنها به درصد سیمان مضاف وابسته نمی باشد، بلکه به تراکم نیز وابسته است. برای احیای زمینها تراکم ودرصد سیمان مضاف بمنظور دستیابی به مقاومت طراحی کنترل می شود. این موارد اندازه گیری درجدول (۶-۲) نشان داده شده است.

فرآیند اجرا با استفاده از یک تغذیه کننده سیمان وپمپ جلوگیری کننده از جدایی دانه ها در کارگاه انجام می شود، همانگونه که درشکل (۶-۴) دیده می شود. از ماسه مخلوط شده تخلیه شده روی نوارنقاله نمونه هایی بمنظور انجام آزمایشهای تحلیل کلسیم و آزمایشهای فشاری محدود نشده بدست می آید.

### ب) بازرسی حین جایگزینی مصالح درمحل :

زمانی که ماسه بهسازی شده در زیرآب جایگزین می شود، شیب خاکریز ایجاد شده وابسته به اندازه دانه های مصالح پرکننده می باشد. در ماسه ریز شیب ملایم می باشد. اما در ماسه درشت دانه تر شیب آن تیزتر است. هنگامی که ماسه بهسازی شده با استفاده از شوت تخلیه می شود، شیب حاصل حدود ۱:۴ می باشد. عموما شیب مصالح ریخته شده وابسته به روش ریختن و نوع خاک می باشد. تحقیق در مورد شکل پشته در محل، قبل از ساخت مورد نیاز می باشد. زمان ریختن با شوت، شکل پشته می تواند با اندازه گیری عمق آب در محیط پشته بوسیله سوند اتوماتیک بدست می آید، بنابراین شکل کامل ایجاد شده پشته با استفاده از سوند یا عمق سنج بررسی می شود.

### ج) بازرسی کیفیت آب:

بمظور کنترل نگهداری کیفیت مطلوب آب در هنگام انجام عملیات پرکردن، ناحیه اجرا با استفاده از یک پوشش جلوگیری کننده ازانتشار آلودگی محافظت می شود. قالبهای جلوگیری کننده از جدایش ماسه بهسازی شده، در محل ریختن حین اجرا از جدایی سیمان جلوگیری کرده وته نشینی ذرات معلق خاک را افزایش می دهد. در مورد جلوگیری از کدرشدن آب، PH آب دریا حالت خنثی دارد، درحالیکه در محیط اجرا PH بالا می باشد. با کنترل PH وجلوگیری ازافزایش آن در محیط کار از یک سطح مجاز می توان از اثر سوء روی کیفیت آب وکدری آن در خارج از پوشش جلوگیری کرد.

جدول (۶-۲): انجام اختلاط با استفاده از نوارنقاله

| مصالح | اجرا | کنترل |
|---|---|---|
| ماسه | نقاله جریان سنج ضربه‌ای | تغذیه کننده ماسه |
| سیمان | جریان سنج | تغذیه کننده سیمان |
| ماده جلوگیری کننده از جدایی | | پمپ جلوگیری کننده از جدایی (پمپ متغیر) |

### د) کنترل کیفیت ماسه بهسازی شده:

برای کنترل کیفیت ماسه بهسازی شده وجایگزین شده، آزمایشاتی انجام می شود. گمانه زنی ونمونه گیری از مقطع خاک بهسازی شده درحین تقویت توصیه می شود. همچنین ماسه بهسازی شده تخلیه شده از کارگاه اختلاط نیز باید مورد بازرسی قرارگیرد.

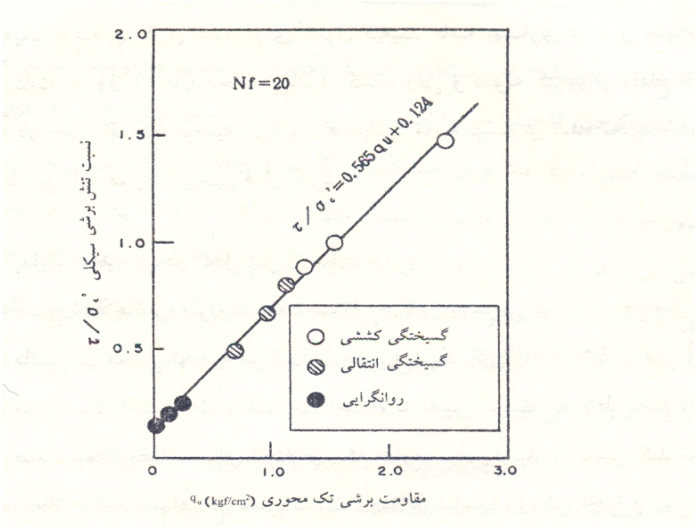
## آزمایش مقدماتی درمحل قبل ازساخت

در صورتیکه هیچ اطلاعاتی مربوط به تجربه اجرا در دسترس نباشد، استفاده از یک آزمایش مقدماتی درمحل توصیه می شود. آزمایش با یک کارگاه اختلاط از قبل آماده شده، انجام می شود. تجهیزات ومراحل احیاء با تعیین نسبت اختلاط ماسه تعیین می شود. درصد سیمان مضاف برای اختلاطی که مقاومت مورد نیاز را تامین کند، تعیین خواهد شد. بعلاوه آزمایشهای درمحل نسبت اختلاط مناسب، روش اجرا و روشهای بازرسی را مشخص می کند.

## مثالهایی از آزمایش احیاء

### ۱) پرکردن با بیل مکانیکی معکوس:

ماسه شنی بهسازی شده (اندازه ذرات زیر۳۰۰ میلیمتر) با ۴ درصد سیمان سرباره مخلوط شده و در منطقه مورد نظر با بیل مکانیکی جایگزین شده است. مقدارعدد SPT محل بهسازی شده درشکل (۶-۳) نشان داده شده است. مشاهده می شود با انجام بهسازی، عدد SPT بالایی نسبت به حالت بهسازی نشده در اثر سیمانتاسیون بوجود می آید حتی زمانی که مصالح متراکم نشده باشد.

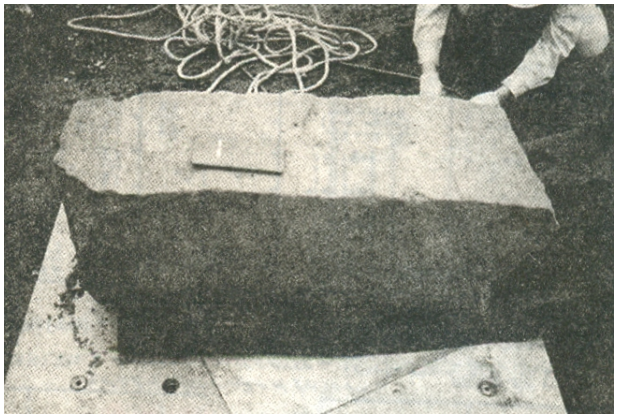



شکل ۶-۳: نتایج آزمایشات SPT (ماسه شنی Tokushima)

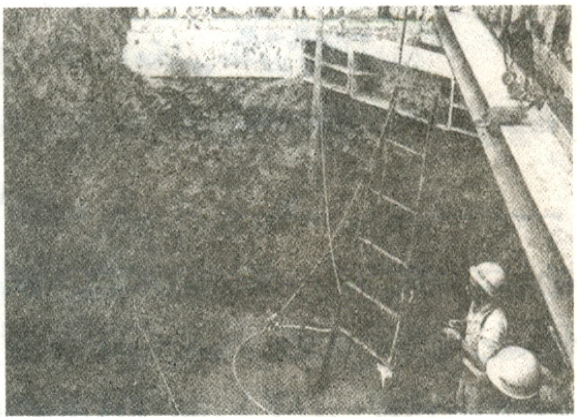
### ۲) جایگزینی با شوت:

آزمایش جایگزینی با شوت در یک مخزن آب با عمق ۱۰ متر با مصالح تمیز Chiba انجام شده است. درصد سیمان مضاف در حدود ۷٫۵ درصد(100kgf/m3) و روش اختلاط توسط نوارنقاله استفاده شده است. اختلاط واجرا سرعتی برابر ۸۰ تا ۲۰۰ مترمکعب درساعت دارد.

کل مقدار مصالح پرشده ۵۰۰ مترمکعب می باشد. مقطع حفاری شده ماسه بهسازی شده درشکل (۶-۴) و نمونه بلوک ماسه بهسازی شده درشکل (۶-۵) مقاومت فشاری محدود نشده (kgf/cm2)۳ تا۴ رابعد از ۲۸ روز و (kgf/cm2) ۶ تا ۸ را بعد از۹۱ روز نشان می دهد.



شکل۶-۴ : حفاری مقطع خاک بهسازی شده



شکل۶-۵ : نمونه بلوک ماسه بهسازی شده

## نتایج :

سیمانتاسیون یکی از روشهای مقابله با روانگرایی است که شامل روشهای مخلوط عمیق وپیش مخلوط می باشد.

در روش مخلوط عمیق، اختلاط مواد تثبیت کننده مثل سیمان درخاک ماسه ای باعث ایجاد مقاومت در برابر روانگرایی می شود.

در روش پیش مخلوط، مقدارکمی از مصالح تثبیت کننده ویک ماده مضاف شیمیایی با خاکریزی در داخل سازه محفظه ای بمنظور بدست آوردن یک مصالح پرکننده جدید بدون روانگرایی با یکدیگر مخلوط می شوند. ودرمحل مورد نظر ناحیه ای تثبیت شده ایجاد می کنند.

اصول این روش، جلوگیری از ایجاد روانگرایی با ایجاد سیمانتاسیون بین ذرات خاک از طریق استفاده ازماده ای تثبیت کننده مثل سیمان می باشد.

با توجه به جدید بودن روش پیش مخلوط، انجام آزمایش مصالح خاکریزی قبل وبعد از بهسازی ضروری است.

مراحل اجرای این روش عبارتند از: انتقال مصالح جایگزین شونده ، اختلاط سیمان ، اضافه کردن مواد جلوگیری کننده از جدایش، انتقال ماسه بهسازی شده وپرکردن ناحیه مورد نظر.

روشهای اجرای اختلاط عبارتند از: روش مخلوط نوارنقاله – استفاده از اختلاط مکانیکی- روش ماشین سنگین.

روشهای جایگزینی در محل عبارتند از: روش گستراندن ، روش شوت و روش جایگزینی مستقیم با استفاده از انواع بارجهای ته باز.

روش گستراندن وروش شوت، روشهای متداولی می با شند که هم اکنون استفاده می شود.

بازرسیهایی درحین ساخت انجام می شود که عبارتند از:

بازرسی درحین اختلاط – بازرسی حین جایگزینی مصالح در محل ، بازرسی کفیت آب و کنترل کیفیت ماسه بهسازی شده.

# فصل هفتم

## نتیجه گیری

## نتیجه گیری :

اگر یک نهشته ماسه ای اشباع تحت ارتعاش قرار گیرد، تمایل به تراکم وکاهش حجم پیدا می کند. دراین حالت اگر امکان زهکشی برقرار نباشد، نتیجه کار افزایش فشارآب حفره ای خواهد بود. اگر به علت ارتعاش پیوسته، فشار آب حفره ای در نهشته ماسه ای افزایش یابد گاهی مواقع ممکن است مقدار آن مساوی فشار سربار گردد. تحت این شرایط، ماسه هیچگونه مقاومت برشی نخواهد داشت وبه حالت مایع در می آید. به چنین وضعیتی "روانگرایی" گفته می شود.

روانگرایی ماسه های اشباع درحین زلزله، عامل خسارات زیادی به ساختمانها، سدهای خاکی وسازه های حائل خاک بوده است. دو نمونه ازاین رخداد، زلزله ۱۶ ژوئن سال ۱۹۶۴ درنیگاتای ژاپن و زلزله ۱۹۶۴ آلاسکا می باشد.

روانگرایی پدیده ای است که اغلب در ماسه های ریز تا متوسط به وقوع می پیوندد.

درخاکهای ماسه ای، ذرات ماسه  بوسیله اتصال بین ذرات نگهداری می شوند ونیرو می تواند ازطریق این اتصالات منتقل گردد. درهنگام روانگرایی این اتصالات ازبین رفته ونیروی بین آنها تبدیل به فشار حفره ای می گردد ومقاومت برشی خاک صفر می شود وخاک ماسه ای رفتاری شبیه یک مایع که وزن مخصوص آن برابر خاک اشباع است، ازخود نشان می دهد.

مکانیزم اساسی روانگرایی در لایه های ماسه ای اشباع وسست، افزایش تدریجی فشارآب منفذی در اثر اعمال تنش های سیکلی حاصل ازانتشار موج برشی زلزله می باشد.

اگر ماسه به اندازه کافی سست وشدت بارگذاری به اندازه کافی بزرگ باشد، ممکن است فشارمنفذی معادل تنش موثر بین ذرات شود. ذراین لحظه نیروهای بین ذرات ازبین رفته وذرات بصورت معلق وغوطه ور درمی آیند. به یک چنین وضعیتی روانگرایی می گویند.

مطالعات انجام شده نشان می دهد که افزایش وزن مخصوص اثرات مشابه ای روی مقاومت روانگرایی دارند. با این وجود، زمانی که سیمانتاسیون به یک حد بحرانی می رسد، اثرات وزن مخصوص را تحت الشعاع قرار می دهد. همچنین وجود لایه های ضعیف ماسه سیمان شده در یک توده قوی تر سبب کاهش مقاومت آن توده در برابر روانگرایی می گردد.

سیمانتاسیون می تواند طبیعی باشد ویا بصورت مصنوعی ایجاد شود. سیمانتاسیون در طبیعت ممکن است به علت وجود رس، سیلت، اکسیدهای آهن، سیلیکات ورسوبات شیمیایی باشد و یا از پیامدهای جانبی هوازدگی واثرات جوشکاری

حاصل گردد. مطالعات نشان می دهد که افزایش این عامل باعث بالارفتن مقاومت خاک در برابر روانگرایی می شود. بنابراین در خاکهای سیمان نشده می توان با ایجاد سیمانتاسیون مصنوعی از طریق تزریق یک عامل سیمانتاسیون، مقاومت آنها را در برابر روانگرایی افزایش داد.

چه سیمانتاسیون بعلت اثرات طبیعی باشد ویا بصورت مصنوعی ایجاد شود، مشهود است که باعث افزایش مقاومت گسیختگی ماسه های اشباع در برابر روانگرایی می گردد.

ماسه های سیمان شده نسبت به ماسه های سیمان نشده مشخصات منحصربفردی دارند. این ماسه ها زمانی که خاک اشباع باشد وبارگذاری لرزه ای وجود داشته باشد، می توانند روانگرا شوند. اما مقاومتشان در برابر روانگرایی بیشتر از ماسه های سیمان نشده است.

از روشهای ارزیابی پتانسیل روانگرایی ، مقایسه تنشهای ایجاد شده بر اثر زلزله ومقاومت خاک می باشد. در این روش، به دسته بندی مناطق براساس داده های زمین شناسی و زمین ریخت شناسی( ژئومورفولوژی) همانند مسیر رودخانه های قبلی، سیل بندهای طبیعی و باتلاقها نیاز داریم که برای نواحی که انجام آزمایشات برجا مثل SPT و آزمون های آزمایشگاهی با مشکلاتی همراه است، مناسب خواهد بود.

اساس روشهای مبتنی بر دانه بندی وعدد SPT ، ارزیابی پتانسیل روانگرایی با مقایسه مقاومت روانگرایی ارزیابی شده از دانه بندی وعدد SPT خاک با نسبت تنش برشی ناشی از زلزله می باشد. در صورتیکه نسبت تنش برشی ایجاد شده از مقاومت روانگرایی خاک بیشتر شود، روانگرایی پیش بینی می شود وگرنه عدم روانگرایی پیش بینی خواهد شد.

شرایط خاک از قبیل تراکم، منحنی توزیع دانه بندی، درجه اشباع ودیگرعوامل مانند سیمانتاسیون برمقاومت روانگرایی تاثیر می گذارند.

روشهای تقویت درمقابل روانگرایی عبارتند از:

تراکم – استهلاک فشارآب منفذی – سیمانتاسیون وجامد سازی – جایگزینی – پایین آوردن سطح آب زیززمینی – مقید کردن کرنش برشی و پیش بارگذاری.

همانطورکه می دانیم سیمانتاسیون یکی از روشهای تقویت درمقابل روانگرایی است که شامل روشهای مخلوط عمیق وپیش مخلوط می باشد. در روش مخلوط عمیق، اختلاط مواد تثبیت کننده مثل سیمان درخاک ماسه ای وجامد سازی خاک، باعث ایجاد مقاومت دربرابر روانگرایی می شود. در روش پیش مخلوط ، مقدارکمی از مصالح تثبیت کننده ویک ماده مضاف شیمیایی با خاکریزی وپشته ریزی در داخل سازه ای محفظه ای بمنظور بدست آوردن یک مصالح پرکننده جدید بدون روانگرایی با یکدیگر مخلوط می شوند ودر محل مورد نظر، ناحیه ای تثبیت شده ایجاد می کنند. اصول این روش، جلوگیری از روانگرایی با ایجاد سیمانتاسیون بین ذرات خاک از طریق استفاده ماده ای تثبیت کننده مثل سیمان می باشد.

**پایان**

## فهرست منابع و مراجع:


1_ B.M.Das, V.K.Puri and SH.Prakash (1999) , " Liquefaction of Silty Soils " , 21-25 th June 1999, Lisbon, Portugal, second International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering.

2_ G.Wayne Clough, Fellow, ASCE, Jotaro Iwabuchi, N.Shafii Rad, and T.Kuppusamy, Member, ASCE (1989). "Influence of Cementation on Liquefaction of Sands." , Journal of Geotechnical Engineering. V. 115, no.8, p.1102-1117.

3_ Rw. Liang, X.Bai and J.Wang (2000), "Effect of clay particle content on liquefaction of soil" , article of 12WCEE (2000).

4_ T.Guo and SH.Prakash (2000), " Liquefaction of Silt-Clay Mixtures" , article of 12WCEE (2000).

5_ Yamamoto, M. Suzuki, A.Date, A.Matsuo and Tomoya (2000) , " Reliquefaction potential of cement- treated sandy soils " article of 12WCEE (2000).

6_ B.M.Das, " Principles of Geotechnical Engineering " , (Book)

7_ A.J.Brennan and S.P.G. Madabhushi, "Liquefaction remediation by vertical drains with varying penetration depths " , Engineering Department, university of Cambrhdge, Trumpington Street, Cambridge, UK Accepted 2 October 2005. Available online 4 January 2006.

۸_ کهنسال عابد لنگرودی (۱۳۷۹) ، " مقایسه روشهای مقاوم سازی خاک در برابر روانگرایی "
سمینار کارشناسی ارشد (امیرکبیر)

۹_ دکتر سید مجدالدین میر محمد حسینی (۱۳۸۵) ، " مقاوم سازی زمین های سست در برابر
روانگرایی " ، کتاب انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر

۱۰- امیرحسین شهیدی فرد (۱۳۸۶) " اثر سیمانتاسیون بر روانگرایی خاکها " ; سمینار کارشناسی ارشد (دانشگاه علم و صنعت ایران)