



بررسی روش های مقابله با خاکهای مستعد روانگرایی

محمد حبیب الهی^{۱*}

^{۱*} دانشجوی دکتری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(mo.habibolahi@gmail.com)

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷)

چکیده

روانگرایی خاک پدیده‌ای است که در آن خاک اشباع در اثر تنش شدیدی که به آن وارد می‌شود، مقاومت و سختی خود را به‌طور کامل از دست می‌دهد و مانند یک مایع رفتار می‌کند. نتایج نشان می‌دهد هر نوع روانگرایی بسته به زمین شناسی خاک، بایستی از روش مناسب آن برای مقابله با روانگرایی استفاده کرد. در صورت ضرورت احداث سازه بر روی خاک مستعد روانگرا، لازم است سازه دارای شکل پذیری بالایی باشد تا بتواند خود را با نشست های ایجاد شده ناشی از روانگرایی تطبیق دهد. برای پی سازه لازم است تا تمهیداتی اندیشیده شود تا از بروز نشست های تفاضلی جلوگیری شود. لازم است تا تمام عناصر و اجزای پی های سطحی به خوبی به یکدیگر متصل شده باشند تا در هنگام جابجایی و نشست، رفتار یکپارچه ای داشته باشند. در صورت امکان بهتر است بر روی خاکی که با ضوابط موجود مستعد روانگرایی است پروژه ای احداث نشود؛ در غیر اینصورت تمام تمهیدات لازم بسته به شرایط بایستی با دقت طراحی و اجرا گردد تا در هنگام زلزله از پیامدهایی همچون نشست و ناپایداری سازه جلوگیری شود و سازه پایداری خود را در هنگام زلزله حفظ نماید که در ادامه کلیه این موارد صدرالذکر به تفصیل در این تحقیق به آن پرداخته شده است.

کلمات کلیدی

روانگرایی، زمین شناسی خاک، روشها، مقاومت، بار لرزه ای.



Study of Methodology against Liquefaction Potential in Soil

Mohammad Habibollahi^{1}*

*^{*1} Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*

(mo.habibollahi@gmail.com)

(Date of received: 21/12/2023, Date of accepted: 07/07/2024)

ABSTRACT

Soil liquefaction is a phenomenon in which saturated soil completely loses its strength and hardness due to the intense stress applied to it and behaves like a liquid. The results show that for each type of liquefaction, depending on the geology of the soil, the appropriate method should be used to deal with liquefaction. If it is necessary to construct a structure on a soil prone to liquefaction, the structure must have high ductility so that it can adapt to the settlements caused by liquefaction. It is necessary to devise measures for the foundation of the structure to prevent differential settlements. It is necessary for all elements and components of the surface foundations to be well connected to each other so that they behave as a single unit during displacement and settlement. If possible, it is better not to construct a project on a soil that is prone to liquefaction according to existing regulations; Otherwise, all necessary measures, depending on the conditions, must be carefully designed and implemented to prevent consequences such as settlement and instability of the structure during an earthquake and to ensure that the structure maintains its stability during an earthquake. All of the above-mentioned issues are discussed in detail in this study.

Keywords:

Liquefaction, Soil geology, Methods, Resistance, Seismic load.



۱- مقدمه

تا کنون روانگرایی ناشی از زلزله باعث خسارات شدیدی به سازه ها شده است و خرابی های گسترده ای را به بار آورده است به همین جهت لازم است تا روش هایی برای بهسازی خاک های مستعد روانگرایی ارائه شود. به طور عمومی برای مقابله با روانگرایی خاک باید عوامل ایجاد روانگرایی را از بین برد. به بیان دیگر می توان با از میان بردن فشار آب حفره ای خاک و یا با افزایش مقاومت خاک، به مقابله با روانگرایی خاک پرداخت. از همین رو از روش های بهسازی خاک در برابر روانگرایی می توان به تعویض خاک مستعد روانگرایی با خاک مناسب، تراکم خاک، تزریق دوغاب، استفاده از ستون های سنگی و زهکشی خاک اشاره کرد.

۲- انواع روانگرایی خاک

روانگرایی خاک به دو صورت روانگرایی جریانی و روانگرایی تحریک سیکلی خاک ایجاد می شود که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد.

۲-۱- روانگرایی جریانی خاک

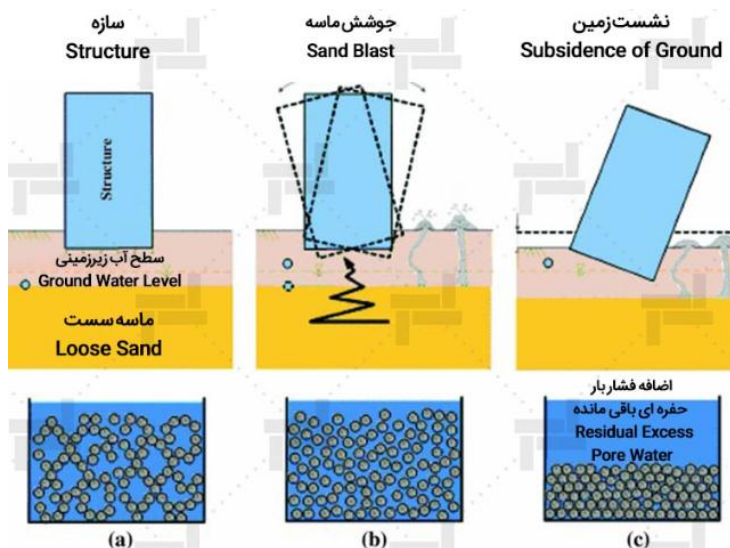
یکی از انواع حالت های روانگرایی خاک، روانگرایی جریانی است. در روانگرایی جریانی خاک، تعادل استاتیک خاک از طریق اعمال بارهای استاتیکی و دینامیکی مختل خواهد شد و این فرایند منجر به کاهش مقاومت باقی مانده ی خاک خواهد شد. ساختمان سازی به روی زمین های شیب دار مثالی از بار استاتیکی و زلزله مثالی از بار دینامیکی وارد بر خاک است که روانگرایی خاک را به دنبال خواهد داشت. در اثر بارهای وارد بر خاک در چنین شرایطی مقاومت برشی خاک کاهش چشمگیری خواهد یافت. آسیب های ناشی از روانگرایی جریانی خاک تخریب و جا به جایی گسترده ای به دنبال خواهد داشت.

۲-۲- روانگرایی تحریک سیکلی خاک

در صورتی که مقدار تنش برشی از مقاومت برشی در خاکی کمتر باشد و چنین خاکی در معرض بار لرزه ای قرار گیرد، شاهد پدیده ی روانگرایی خاک به شکل تحریک سیکلی خواهیم بود. روانگرایی خاک به صورت تحریک سیکلی پدیده ای است که عموماً در زمین های صاف یا کم شیب رخ می دهد. یکی از متداول در اثر تحریک سیکلی خاک، گسترش جانبی این خاک ها است. در اثر روانگرایی خاک به شکل تحریک سیکلی و فشار بالای آب حفره ای، شاهد حرکت آب های زیر زمینی به سطح زمین حین وقوع زمین لرزه یا پس از آن خواهیم بود. در صورتی که جریان آب حرکت کرده به روی زمین از سرعت بالایی برخوردار باشد، ممکن است ذرات ماسه را به همراه خود به سطح زمین بیاورید که این پدیده، جوشش ماسه نامیده می شود. عموماً در خاک هایی که دارای آب زیرزمینی هستند شاهد وقوع روانگرایی خواهیم بود به همین دلیل مناطق ساحلی، اسکله یا بندرها مناطق مستعد روانگرایی خاک هستند. از آنجایی که اکثر بندرها دارای دیوار حائل هستند، حین روانگرایی خاک فشار زیادی را تحمل می کنند که این امر منجر به جابجایی یا چرخش آن ها خواهد شد. یکی دیگر از رویدادهای متداول در اثر روانگرایی خاک، آسیب وارد بر پل های شهری است. در چنین شرایط عموماً کناره های رودخانه گسترش خواهد یافت و با حرکت به سمت بستر رودخانه و اعمال فشار به شمع هایی که به عنوان ستون برای پل ها استفاده می شوند منجر به تخریب پل ها خواهند شد، به همین دلیل مقاوم سازی پل ها نیز یکی از راه های مقابله با آسیب های ناشی از روانگرایی خاک است. دو عامل اصلی جهت مقابله با روانگرایی خاک:

۱- از بین بردن فشار آب حفره ای خاک

۲- افزایش مقاومت خاک



شکل ۱: بار لرزه ای میتواند باعث تراکم خاک پس از زلزله و نشست زمین شود.

۳- مخاطرات ژئوتکنیکی در حین زلزله

در هنگام وقوع زمین لرزه علاوه بر احتمال آسیب به سازه که به دلیل بارهای دینامیکی ایجاد می شود، ممکن است خاک زیر سازه نیز دچار مشکل شود. معمولاً در هنگام روانگرایی با نشست های قابل توجه در سازه، لغزش شیروانی، گسیختگی خاک و جوشش ماسه مواجه می شویم. در برخورد با خاک مستعد روانگرایی می توان به سه شیوه عمل کرد.

۱- ساخت سازه های مقاوم در برابر روانگرایی

۲- بهسازی خاک

۳- دوری از خاک های مستعد روانگرایی



شکل ۲: روش های مقابله با روانگرایی خاک در خاک مستعد روانگرایی

۴- روش های بهسازی خاک برای مقابله با پدیده روانگرایی خاک

۴-۱- شناوری لرزه ای (Vibroflotation)

روش شناوری لرزه ای باعث تراکم خاک های ماسه ای سست می شود. شیوه ی انجام آن با وارد کردن یک راد در حال لرزش به صورت افقی درون خاک است. هنگام ورود راد به خاک از انتهای آن آب با فشار به آن تزریق می شود. لرزش ایجاد شده و فشار آب باعث خرد کردن ذرات درشت خاک می شود. ذرات خرد شده با استفاده از ویبره ی اعمالی متراکم شده و در نهایت چگالی خاک افزایش می یابد.



۲-۴- تراکم دینامیکی (Dynamic Compaction)

روش‌های مبتنی بر تراکم به منظور بالا بردن مقاومت خاک و متراکم کردن خاک ماسه‌ای با استفاده از ضربه توسط سقوط چکش و ارتعاش، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. با اعمال ضربه به خاک، روانگرایی موضعی در قسمت‌هایی از خاک ایجاد می‌شود که با کمک آن می‌توان باعث زهکشی خاک و متراکم شدن خاک شد.

۳-۴- استهلاک فشار آب منفذی (Drainage Techniques)

از آنجایی که فشار آب حفره‌ای نقش اساسی در ایجاد روانگرایی ایفا می‌کند، در صورت از بین بردن اضافه فشار منفذی حین زلزله، می‌توان از ایجاد روانگرایی جلوگیری کرد. به همین منظور با استفاده از زهکش‌های شنی، ماسه‌ای، مصالح مصنوعی و لرزه‌ای می‌توان اضافه فشار آب حفره‌ای ایجاد شده حین زلزله را از بین برد. در صورت استفاده از زهکش‌های ساخته شده با مواد مصنوعی می‌توان آن‌ها را در زوایای مختلفی استفاده کرد که این موضوع برای زهکش‌های شنی، ماسه و لرزه‌ای امکان‌پذیر نیست و این زهکش‌ها غالباً به صورت عمودی اجرا می‌شوند.

۴-۴- ستون‌های سنگی (Stone Columns)

با استفاده از اجرای ستون‌های سنگی (ستون‌های شنی) در خاک مستعد روانگرایی می‌توان از دو عامل برای بهسازی خاک استفاده کرد. عامل اول ایجاد ستون‌های سنگی است که باعث افزایش سختی و مقاومت خاک می‌شود و افزایش مقاومت را به همراه دارد. عامل دوم ایجاد ستون‌های زهکش است. به دلیل وجود حفره‌هایی درون ستون‌های سنگی هنگام افزایش فشار آب حفره‌ای، ستون‌های سنگی باعث زهکشی آب و در نتیجه از بین بردن امکان روانگرایی می‌شوند. ستون‌های سنگی می‌توانند همراه با غلاف‌های فلزی نیز اجرا شوند. این غلاف‌ها در خاک کوبیده می‌شوند، سپس شن به داخل غلاف ریخته شده و با چکش کوبیده می‌شود. در انتها غلاف از درون خاک بیرون کشیده می‌شود.

۵-۴- شمع‌های تراکمی (Compaction Piles)

استفاده از شمع‌های تراکمی یکی از روش‌های بسیار اثرگذار می‌باشد. شمع‌های تراکمی معمولاً از بتن یا چوب پیش‌تنیده ساخته می‌شوند. نصب شمع‌های تراکمی باعث متراکم شدن و مسلح سازی خاک می‌شود.

۶-۴- اختلاط عمیق (Deep Soil Mixing)

روش اختلاط عمقی خاک باعث بهبود خصوصیات مهندسی خاک می‌شود. برای اجرای روش اختلاط عمیق، گمانه‌هایی در خاک ایجاد شده و سپس با تزریق به روش خشک یا تر و ترکیب مواد چسباننده مانند سیمان، ستون‌هایی با مقاومت مناسب در خاک شکل می‌گیرد.

۷-۴- تزریق تراکمی (Compaction Grouting)

تزریق تراکمی روشی است که در آن با تزریق آرام آب، ماسه، سیمان، بنتونیت و ترکیبات رسی احجام حباب‌شکلی در خاک ایجاد می‌شود که باعث افزایش تراکم و چگالی خاک می‌شوند. روش تزریق تراکمی یکی از روش‌های مورد استفاده برای بهبود خاک زیر پی ساختمان موجود می‌باشد زیرا می‌توان تزریق را در زوایای مختلفی زیر پی انجام داد.



۴-۸- تزریق نفوذی (Permeation Grouting)

در این روش یک سیال با ویسکوزیته پایین به درون خاک تزریق می شود. هدف این کار پر کردن حفره های موجود در خاک و آب بند کردن خاک است. هنگام اجرای این روش قسمت هایی از خاک به صورت موضعی دچار تراکم می شوند و در نتیجه خطر روانگرایی کاهش می یابد.

۴-۹- پایدارسازی غیر فعال (Passive Site Stabilization)

این روش یک روش غیر مخرب در پایدارسازی و از بین بردن پتانسیل روانگرایی خاک است. در این روش از مصالحی مانند سیلیس کولوئیدی استفاده می شود که به آرامی در خاک تزریق می شود. با استفاده از چاه های تزریق در اطراف سایت، مصالح به خاک تزریق شده و به دلیل وجود جریان آب زیر زمینی، در لایه ی خاک با پتانسیل روانگرایی پخش می شود. این مصالح غیر سمی بوده و در خاک به صورت ژل دائمی شکل می گیرد که باعث افزایش مقاومت خاک در برابر جابجایی ذرات و افزایش مقاومت برشی می شود.

۴-۱۰- تکنولوژی زیستی (Microbial Geotechnlogy)

در این روش با استفاده از روش های زیستی، پارامترهای مهندسی خاک بهبود داده می شوند. سه روش اصلی بهسازی خاک با این روش استفاده از سیمانانتاسیون زیستی (Biocementation)، مسدود سازی زیستی (Bioclogging) و گازهای زیستی (Biogas) می باشد. در روش سیمانانتاسیون زیستی ذرات خاک به هم متصل می شوند تا مقاومت برشی خاک افزایش یافته و ظرفیت باربری خاک بهبود یابد. برای انجام این کار مواد مغذی و میکرو ارگانیسم هایی به خاک تزریق می شود. سپس زنجیره ای از فعالیت های شیمیایی در خاک باعث تشکیل ژل و چسباندن ذرات خاک به یکدیگر می شود.

۴-۱۱- ایجاد محیط اشباع جزئی (Induced Partial Saturation Technique)

در این روش با استفاده از تزریق ژل شیمیایی در محیط اشباع، حباب های هوا ایجاد می شود تا درجه ی اشباع خاک پایین بیاید که در نتیجه آن مقاومت و تراکم پذیری خاک افزایش یافته و از وقوع روانگرایی جلوگیری می شود.

۴-۱۲- جایگزینی خاک (Soil Replacement)

در روش جایگزینی، مصالح مستعد روانگرایی با خاک مناسب تعویض می شوند. از آنجایی که معمولا این روش نیاز به تعویض خاک در ابعاد وسیع دارد و باعث محدودیت هایی می شود، روش متداولی نیست.

۴-۱۳- پایین آوردن سطح آب زیرزمینی (Lowering of the Ground Water Table)

می توان با پایین نگه داشتن سطح آب زیر زمینی توسط پمپاژ آب، مانع از وقوع روانگرایی شد. اما از آن جایی که با بارش برف و باران در فصول مختلف، سطح آب زیرزمینی می تواند تغییر کند و نیاز دائم به پمپاژ آب می باشد، این روش نیز برای بلند مدت روش متداولی نیست.



۵- ساخت سازه های مقاوم در برابر روانگرایی خاک

اگر ساخت سازه بر روی خاک با پتانسیل روانگرایی ضرورت داشته باشد لازم است تا تمهیداتی برای طراحی سازه اندیشیده شود تا بتوان از بروز خسارت جلوگیری کرد. سازه لازم است دارای شکل پذیری بالایی باشد تا بتواند خود را با نشست های ایجاد شده ناشی از روانگرایی تطبیق دهد. برای پی سازه لازم است تا تمهیداتی اندیشیده شود تا از بروز نشست های تفاضلی جلوگیری شود. برای دست یابی به این اهداف می توان شرایط زیر را در نظر گرفت.

۵-۱- جنبه های مورد بررسی برای پی های سطحی

لازم است تا تمام عناصر و اجزای پی های سطحی به خوبی به یکدیگر متصل شده باشند تا در هنگام جابجایی و نشست، رفتار یکپارچه ای داشته باشند. این کار باعث کاهش تنش های برشی اعمال شده به اجزای سازه ای می شود. در استفاده از پی های گسترده در خاک با پتانسیل روانگرایی، توصیه می شود تا در صورت روانگرایی بخشی از خاک، مقاومت پی توسط قسمت های دیگر زمین که روانگرا نشده است تامین گردد. لازم است اجزای دفن شده در زیر خاک مانند لوله های آب با اتصالات شکل پذیر اجرا شوند.

۵-۲- جنبه های مورد بررسی در پی های عمیق

پدیده روانگرایی خاک می تواند باعث ایجاد نیروهای جانبی بزرگی بر روی شمع شود. شمعی که در یک لایه خاک سست با پتانسیل روانگرایی و یک لایه خاک سخت اجرا می شود در صورتی که خاک سست روانگرا شود لازم است تا بارهای قائم و ممان های خمشی را تحمل کند. مقاومت مورد نیاز می تواند توسط شمع های با قطر بزرگتر و یا آرماتورهای بیشتر تامین شود. ارتباط بین شمع و سرشمع باید با قابلیت شکل پذیری همراه باشد تا در صورت دوران سازه، آسیبی نبیند.

۶- اجتناب از خاک مستعد روانگرایی

در صورت امکان بهتر است بر روی خاکی که با ضوابط موجود مستعد روانگرایی است پروژه ای احداث نشود. ضوابط بررسی پتانسیل روانگرایی خاک به شرح زیر است:

ضوابط تاریخی: یکی از ضوابط مورد استفاده برای بررسی پتانسیل روانگرایی خاک استفاده از داده های زمانی است. در صورتی که در گذشته در محیطی که محل احداث پروژه است روانگرایی اتفاق افتاده باشد و یا در شرایط مشابهی روانگرایی دیده شده باشد امکان وقوع مجدد روانگرایی وجود دارد.

ضوابط زمین شناسی: مشخصات زمین شناسی خاک مورد نظر بر روی پتانسیل روانگرایی بسیار اثرگذار است. خاک های اشباع بادی و آبرفتی، خاک های مستعد روانگرایی هستند. در این نوع خاک ها به علت نحوه ی شکل گیری، خاک دارای ذرات یک اندازه است که در حالت سستی بر روی هم قرار گرفته اند. به علت سست بودن خاک، تمایل برای تراکم در خاک بالا است و این تمایل می تواند باعث افزایش فشار آب حفره ای و کاهش مقاومت برشی خاک شود.

ضوابط دانه بندی: در خاک های با دانه بندی یکنواخت احتمال وقوع روانگرایی بیشتر از خاک هایی با بازه وسیع تری از ذرات است. هنگامی که خاک از ذرات با اندازه های متفاوتی تشکیل شده باشد، ذرات کوچکتر در حفره های موجود بین ذرات بزرگتر قرار می گیرند و این خاک تمایل کمتری به تراکم دارد و احتمال وقوع روانگرایی در آن کم است. از طرفی هر قدر اصطکاک بین ذرات خاک بیشتر باشد احتمال وقوع روانگرایی کمتر است به همین دلیل خاک های با ذرات تیز گوشه پتانسیل روانگرایی کمتری نسبت به خاک هایی با ذرات گرد گوشه دارند.



۷- جمع بندی و نتیجه گیری

برای مقابله با پدیده روانگرایی خاک، بسته به زمین شناسی خاک، بایستی از روش مناسب آن استفاده کرد. در صورت امکان بهتر است بر روی خاکی که با ضوابط موجود، مستعد روانگرایی است پروژه ای احداث نشود. اگر ساخت سازه بر روی خاک با پتانسیل روانگرایی ضرورت داشته باشد لازم است تا تمهیداتی برای طراحی سازه اندیشیده شود تا بتوان از بروز خسارت جلوگیری کرد و می بایست بسته به شرایط از روش های ذکر شده استفاده نمود. لازم است سازه دارای شکل پذیری بالایی باشد تا بتواند خود را با نشست های ایجاد شده ناشی از روانگرایی تطبیق دهد. برای پی سازه لازم است تا تمهیداتی اندیشیده شود تا از بروز نشست های تفاضلی جلوگیری شود. لازم است تا تمام عناصر و اجزای پی های سطحی به خوبی به یکدیگر متصل شده باشند تا در هنگام جابجایی و نشست، رفتار یکپارچه ای داشته باشند.

۸- مراجع

- 1-Hazen, A. (1920). Transactions of the American Society of Civil Engineers. **83**: 1717
- 2-Heather.McCullough. . www.ngdc.noaa.gov . Archived from the original on 1 December 2017.
- 3-Retrieved 20 January 20182017-11-27. {{cite web}}: Check date values in: |access-date «Geologists arrive to study liquefaction», TVNZ «Christchurch areas to be abandoned», NZ Herald
- 4-NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures (FEMA 450). Washington D.C.: National Institute of Building Sciences. 2004. {{cite book}}: first= missing |last)
- 5-EN1998-5:۲۰۰۴ Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance. Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects. Brussels: European Committee for Standardisation. 2004
- 6-International Code Council Inc. (ICC) (2006). International Building Code. Birmingham, Alabama, US: International Conference of Building Officials, and Southern Building Code Congress International, Inc.