بررسی و مقایسه روش های ارزیابی پتانسیل روانگرایی در خاک های ماسه ای

عسکر جانعلیزاده چوب بستی [۱،*]، مهران نقی زاده رکنی [۲]، محسن نقی زاده رکنی [۳]

مشخصات نویسنده اول

۱ *- نویسنده مسوول: دانشیار، دکترا عمران، خاک و پی، دانشگاه نوشیروانی بابل ،

Asskar@nit.ac.ir

مشخصات نویسنده دوم

۲- مهندس، کارشناسی ارشد عمران، خاک و پی، آزاد زنجان ،

Naghizademehran@yahoo.com

مشخصات نویسنده سوم

۳- مهندس، کارشناسی ارشد عمران، خاک و پی، آزاد زنجان ،

Naghizademehran@yahoo.com

چکیده

یکی از مهمترین پدیده هایی که هنگام زلزله خسارات شدیدی به ساختمان و شریان های حیاتی موجود بر روی آبرفتهای ماسه ای جوان وارد می کند پدیده روانگرایی است. از جمله روشهای متداول برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک می توان به روش تنش دوره ای، روش کرنش دوره ای و روش انرژی اشاره کرد. این روش ها داری مزایا و معایبی هستند که به طور کلی در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفته اند. اما در این میان در روش انرژی، چون روانگرایی خاک ماسه ای مستقل از نوع بارگزاری بررسی می گردد، بیشتر از روش های دیگر مورد توجه قرار گرفته است، لذا این روش در در مقایسه با روش های دیگر تعیین پتانسیل روانگرایی خاک ها، از قابلیت بیشتری برخوردار است.

واژگان کلیدی: روانگرایی، روش انرژی تلف شده، روش تنش سیکلی، روش کرنش سیکلی.

Comparison of soil liquefaction assessment methods Sand

Abstract

One of the most severe damage to the building during an earthquake phenomenon that vital artery on the phenomenon of liquefaction is young sand alluviums. Including procedures for evaluation of soil liquefaction can be a time of stress, strain of time and energy on. These methods have advantages and disadvantages that are generally evaluated in this study. But the sandy soil liquefaction in the energy independent of the load will be dealt with most of the other methods is considered, This method compared with other methods to determine the liquefaction of soils, higher capabilities.

Keywords: Liquefaction, wasted energy by way of cyclic stress, cyclic strain method.

۱- مقدمه

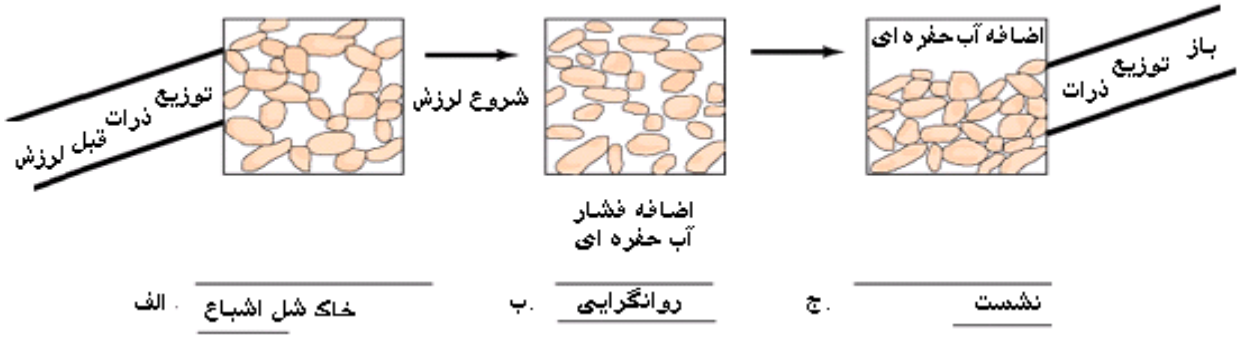
روانگرایی یا از دست رفتن مقاومت ساختار در اثر جنبش نیرومند زمین یکی از پدیده های مهم در مبحث ژنوتکنیک لرزه ای می باشد که باعث ایجاد خطرات جدی بر تاسیسات و ابنیه احداث شده بر روی خاک های مستعد روانگرایی در طی اعمال تنشهای برشی سیکلی می گردد. با توجه به لرزه خیزی منطقه ای که ایران در آن واقع شده است، ارزیابی پدیده روانگرایی که یکی از مسائل و مشکلات اکثر سازه های خاکی مجاور با آب می باشد، ضروری به نظر می رسد. علیرغم گذشت چند دوره از آشنایی مهندسان متخصصان با این پدیده و انجام مطالعات و تحقیقات وسیع و گسترده پیرامون آن، روانگرایی کماکان خسارات سنگین و زیادی در اغلب زلزله های بزرگ در مناطق مختلف جهان به دنبال داشته است. درمناطق ساحلی که جنس خاک درآنها عمدتا از ماسه های سست اشباع شده میباشد به دلیل وجود جاذبه های خاص، سرمایه و جمعیت قابل توجهی در آن مناطق جذب شده است و ابنیه های متعددی در این نواحی احداث گردیده اند که مسلماً در صورت وجودخطر لرزه خیزی زیاد در منطقه، نگاه ویژه به بحث ارزیابی پتانسیل روانگرایی و مقاوم سازی سازه ها در مقابل این پدیده را می طلبد[۱].

ارزیابی پتانسیل روانگرایی بسته به نوع و اهمیت یک پروژه ممکن است در مقیاس های مختلف انجام گیرد.در حالت کلی انجام مطالعه مخاطرات ناشی از این پدیده در سه حالت کوچک، متوسط و بزرگ مقیاس میسر است. مطالعات مقیاس کوچک، مطالعاتی است که بر اساس اطلاعات موجود از وقوع روانگرایی در زمین لرزه های گذشته و نقشه های زمین شناسی ژنومورفولوژی صورت می گیرد. در مطالعات با مقیاس متوسط، دقت مطالعات به مراتب بیشتر از مطالعات قبلی است و علاوه بر منابع مورد استفاده در مطالعات مرحله قبل، از عکس های هوایی، مطالعات محلی گزارشات ژئوتکنیکی که در این حالت وضعیت لایه بندی خاک با توجه به نتایج آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهای تعیین می گردد، صورت میپذیرد.

طی سال های گذشته روش های متعددی برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی توسعه یافته که از آن جمله می توان به روش کرنش دوره ای و روش تنش برشی دوره ای اشاره کرد. در روش های تنش وکرنش دوره ای، باید تاریخچه زمانی تنش نامنظم و غیر هارمونیکی زلزله به یک سری سیکل های تنش یکنواخت تبدیل گردد. اما در روش انرژی تلف شده به این گونه دست خوردگی ها در اطلاعات موجود نیازی نیست. از این رو استفاده از روش انرژی نسبت به روش های دیگر از ارجعیت برخوردار می باشد.

۲- بررسی شکل گیری پدیده ی روانگرایی

هنگامی که نهشته های خاک اشباع در اثر حرکات لرز های به سرعت و به صورت دوسویه تحت برش قرار گیرند، فشار آب درداخل خلل و فرج خاک شروع به افزایش می نماید .در خا کهای غیرچسبنده ی اشباع سست، فشار آب منفذی به سرعت افزایش یافته و ممکن است به حدی برسد که ذرات به صورت مجزا از یکدیگر معلق شوند و برای لحظاتی مقاومت و سختی خاک به طورکامل از بین برود .این پدیده که در اصطلاح به آن روانگرایی خاک گفته می شود، به صورت شماتیک در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱

مقاومت خاکهای دانه ای ناشی از برآیند مقاومت اصطکاکی و چفت و بست میان ذرات خاک می باشد .در هر عمقی از زمین، قبل از زلزله، بخشی از وزن خاک و دیگر بارهای روی آن توسط نیروهای میان ذرات و بخشی دیگر به وسیله آب تحمل می شود.

هنگامی که خاک سست مورد لرزش قرار می گیرد، گرایش به متراکم شدن و یا فشرده شدن دارد. وجود آب در میان منافذ، سبب می شود تا این کاهش حجم به دلیل زهکشی تدریجی و کند به سرعت صورت نپذیرد .در نتیجه با ادامه تکان های لرزه ای، وزن فوقانی بیشتر و بیشتر به آب منفذی منتقل شده و نیروی میان ذرات خاک کاهش می یابد .در انتها، فشار آب منفذی ممکن است به درجه ای برسد که موجب شود آب با شکافتن لایه های فوقانی جهش نماید و تمام وزن مصالح فوقانی به آب منفذی انتقال یابد .دراین شرایط، خاک روانگرا شده به صورت یک سیال غلیظ رفتار می نماید و ممکن است جابجایی های بزرگ در زمین به وقوع بپیوندد.

این وضعیت روانگرایی تا زمانی که اضافه فشار آب منفذی دوباره زهکشی گردد و تماس میان ذرات خاک ایجاد گردد ادامه خواهد یافت .در اثر این فرآیند برخی لایه ها در زمین متراکم خواهند شد و نشست های غالبا نامتقارن بر روی زمین مشاهده می شود.

لایه های دیگر در شرایط خیلی سست باقی مانده و در معرض روانگراشدن مجدد در طی زلزله های آتی خواهند بود.خرابی های وسیع ناشی از تغییرشکل های حاصل از روانگرایی در طی زلزله های گذشته سبب شده است تا این پدیده به یکی ازمهمترین، پیچیده ترین و بحث برانگیزترین موضوعات در مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای تبدیل شود .آشنایی با این پدیده و بررسی شرایط شکل گیری آن به چندین دهه ی گذشته بازمیگردد .بازبینی تعاریف ارائه شده برای روانگرایی در ادبیات فنی، از یک سو به اهمیت این پدیده و اثرات ناشی از آن را بیان می کند و از سوی دیگر روند تکاملی شناخت پدیده را نشان می دهد.

۳- اثرات روانگرایی های اتفاق افتاده پیشین بر سازه ها

پدیده روانگرایی بر ساختمانها، پل ها، خطوط لوله مدفون و دیگر سازه ها و تاسیسات مهندسی به طریق مختلفی اثر گزار می باشد. روانگرایی بر طبیعت حرکات سطح زمین نیز تاثیر میگزارد. روانگرایی جریانی می تواند موجب لغزش توده های بزرگ، غرق شدگی سازه های سنگین، شناوری سازه های مدفون سبک و گسیختگی سازه ها حائل گردد. تحریک سیکلی نیز ممکن است موجب فروریزی شیب ها، نشست ساختمان ها، تغییر شکل های جانبی و گسیختگی دیوار حائل گردد. در ساختمان های مسطح اثرات روانگرایی معمولا به شکل های همچون نوسانات قبل ملاحظه زمین، نشست سطح زمین، جوشش ماسه و ناپایداری های پس از اتمام زلزله بروز پیدا میکند[۲].

منشا وقوع اثرات روانگرایی را می توان به سه دسته تقسیم کرد:

● اثراتی که به دلیل تنزل مقاومت خاک به وجود می آیند. مثال های بارز این اثرات عبارتنداز:
گسیختگی های برشی خاک زیر پی که نتیجه آن فرو رفت ساختمان در داخل خاک وکج شدگی آن می باشد .
تغییر شکلهای جانبی زمین هلای شیب دار که این تغییر شکلها به دو دسته تغییر شکلهای جانبی محدود و تغییرشکلهای جریانی تقسیم بندی می شود . لغزشهای جانبی شیبهای طبیعی در اثر وقوع زلزله وفرو ریختن خاک ریزها وسدهای خاکی مثال های ازاین نوع تغییر شکلها می باشند .

● اثراتی که به دلیل زایل شدن فشار آب حفره ای اضافی به وجود می آیند که شامل نشست های حاصل از روانگرایی رخ داده در منطقه می تواند باشد.

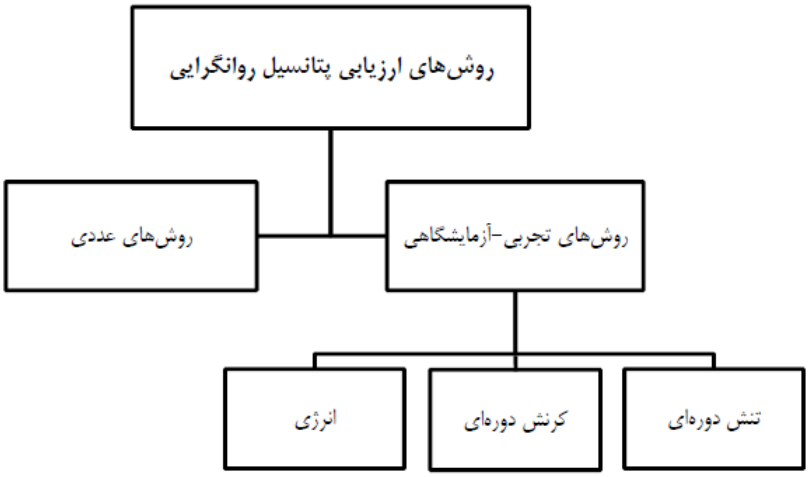
● اثراتی که به دلیل تنزل در سختی خاک بوجود می آیند که از بارز ترین این اثرات میتوان به متفاوت شدن ارتعاشات پی نسبت به ارتعاشات سنگ بستر اشاره گردد. در این حالت به دلیل کاهش سختی خاک در اثر وقوع روانگرائی، ارتعاشات سنگ بستر در خاک روانگرا میرا شده و در نتیجه به پی ساختمان ارتعاشات کمی انتقال پیدا می کند و پی به طور مجزا با شتاب کمتری نوسان می کند. البته برای مقابله با این پدیده یک سری تکنیک هایی وجود دارد که از میان آن ها می توان به ستون های شنی اشاره کرد که یکی از روش های مناسب برای مقابله با اثرات روان گرایی میباشد که کمابیش هرسه اثر مذکور توضیح داده شده را تحت پوشش قرار میدهد.

۴- ارزیابی پتانسیل روانگرایی

طی سال ها، روش های متعدی برای ارزیابی پتانسیل روان گرایی ارائه شده که متداول ترین آنها روش تنش سیکلی، روش کرنش سیکلی، روش انرژی تلف شده و روش تحلیل پاسخ بر مبنای تنش موثر را می توان نام برد. در این تحقیق سه روش، تنش سیکلی، کرنش سیکلی وانرژی تلف شده مورد بررسی واقع شده است. لازم به ذکر است که در اغلب پروژه های بزرگ بیش از یک روش برای ارزیابی پتانسیل روان گرایی به کار میرود که دلیل آن به رفتار پیچیده و غیر خطی خاک بر میگردد.
گام بعدی پس از تعیین استعداد روانگرایی خاک، ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک می باشد. دو شیوه ی اصلی برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی وجود دارد .هدف روش اول, آن است که این فعل و انفعال پیچیده را در یک تحلیل غیرخطی پاسخ ساختگاه و با استفاده از یک مدل ساختاری مناسب به صورت صریح مدل نماید. در تحلیل های غیرخطی پاسخ ساختگاه که معادله ی حرکت به صورت رفتاری مستقیم در دامنه ی زمان و با گامهای زمانی به قدر کافی کوتاه انتگرالگیری می شود؛ میتوان کرنش برشی و اضافه فشار آب منفذی را از روی مدل ساختاری تخمین زد میزان صحت نتایج در این روش به مناسب

بودن مدل ساختاری و کفایت برنامه ی آزمون های آزمایشگاهی و صحرایی برای تعیین پارامترهای مدل غیرخطی خاک بستگی دارد. با توجه به پیچیدگی وهزینه و زمان مورد نیاز، این روش بیشتر در مطالعات تحقیقاتی مورد استفاده قرار میگیرد[۳].

روش دوم بر مبنای همبستگی های تجربی میان بارگذاری لرزه ای (عامل تحریک) و مقاومت خاک در برابر روانگرایی (عامل ظرفیت) است؛ هرچند مقاومت خاک می تواند به صورت مستقیم از آزمون های آزمایشگاهی نیز به دست آید .در این نوع از روشهای ارزیابی پتانسیل روانگرایی که از آنها به عنوان روشهای تجربی-آزمایشگاهی یاد میشود، هنگامی که عامل تحریک برابر یا بزرگ تر از عامل مقاوم شود، انتظار وقوع روانگرایی می رود .این روشها نسبت به مدل های عددی کاربرد گسترده تری دارند، چرا که استفاده از آنها ساده تر و ارزانتر است .از اینرو در این فصل به تشریح تاریخچه و مفاهیم موجود در این روشها پرداخته میشود. در روشهای تجربی-آزمایشگاهی، شیوه های ارزیابی عامل تحریک در تعیین پتانسیل روانگرایی به سه گروه عمده ی روشهای بر مبنای تنش تناوبی، کرنش تناوبی و انرژی تقسیم میگردند.



شکل ۲- روش های ارزیابی پتانسیل

روش تنش تناوبی که بیشترین داربرد را در میان سه روش مدکور دارا می باشد، در حدود چهار دهه ی پیش به وجود آمده و تا امروز بدون تغییر کلی و تنها با اصلاحات جزئی نسبت به قالب اولیه ی خود باقی مانده است .اگرچه روش های کرنش تناوبی و انرژی پس از روش تنش به وجود آمدند و از لحاظ مفهومی نیز نسبت به این روش دارای برتر یهایی می باشند، ولی به نسبت کمتر مورد استفاده قرار می گیرند .در ادامه ی این فصل مفاهیم این روشها شرح داده شده و در انتها با مقایسه ی آنها، روش منتخب این راهنما برای بررسی تفصیلی در فصل بعدی معرفی میشود[۴].

۵– روش تنش دوره ایی

روش تنش دوره ایی یک از کاربردی ترین روش ها برای ارزیابی پتانسل روان گرایی می باشد که توسط seed and idris ارائه شده است[۵]. فرض اساسی در روش تنش دوره ایی این است که فشار آب حفره ایی اضافی ایجاد شونده اساسا به تنش برشی دوره ایی بستگی دارد . در روش مذکور، بارگذاری ناشی از زلزله که بر حسب تنش های برشی دوره ای بیان می شود با مقاومت روان گرایی خاک مقایسه می گردد. در این روش اگر (τ_{liq}) معرف مقاومت برشی خاک و (τ_{eq}) معرف تنش برشی

دوره ایی ایجاد شونده باشد، زمانی خاک روان گرا خواهد شد که مقدار تنش برشی سیکلی ایجاد شونده (τ_{eq}) از مقاومت برشی خاک (τ_{liq}) بیشتر باشد. در این روش، بارگزاری با دو روش مورد پیشبینی قرار می گیرد.

از طریق تحلیل پاسخ زمین که به وسیله آن تاریخچه زمانی تنش برشی در اعماق مختلف توده خاک به صورت گذرا و نامنظم ارائه می شود.

استفاده ار رابطه ساده شده پیشنهادی(۱۹۷۱) idriss and seed که به وسیله آن می توان دامنه تنش برشی سیکلی یکنواخت و نسبت تنش سیکلی را برای ساختگاههای افقی و یا با شیب ملایم تعیین کرد[۶]. رابطه مذکور در رابطه (۱) آورده شده است.

رابطه(۱) $$CSR=(\frac{\tau_{av}}{\sigma_v})=۰.۶۵(\frac{a_{\max}}{g})(\frac{\sigma_v}{\sigma_v^{'}})(\frac{r_d}{FMS})$$

در این رابطه a_{max} شتاب حداکثر افقی زلزله، σ_v تنش قائم کل، $\sigma_v^{'}$ تنش موثر قائم، r_d ضریب کاهش تنش ناشی از انعطاف‌پذیری خاک و FMS ضریب بزرگی زلزله می‌باشد. دراین تحقیق مقادیر r_d، از رابطه(۴-۲) که توسط مرکز بین‌المللی تحقیقات مهندسی زلزله ارائه شد، استفاده می‌شود[۶].

رابطه (۲) $$r_d=\frac{(۱-۰.۴۱۱۳z^{۰.۵}+۰.۰۴۰۵۲z+۰.۰۰۱۷۵۳z^{۱.۵})}{(۱-۰.۴۱۷۷z^{۰.۵}+۰.۰۵۷۲۹z-۰.۰۰۶۲۰۵z^{۱.۵}+۰.۰۰۱۲۱z^{۲})}$$

که دراین رابطه z عمق لایه‌های خاک از سطح زمین می‌باشد.

جمله FMS بایستی برای تصحیح نسبت تنش سیکلی زلزله‌های با بزرگی، کوچکتر و بزرگتراز ۷/۵ ریشتر بکار گرفته شود. در این مطالعه از رابطه‌ای که توسط یود و ادریس (۱۹۹۷)، ارائه شد، رابطه (۳)استفاده شده است[۶].

رابطه (۳) $$FMS=\frac{۱۰^{۲.۲۴}}{M_w^{۲.۵۶}}$$

در این رابطه M_w گشتاور لرزه‌ای می‌باشد.

از سویی دیگر مقاومت خاک در برابر روانگرایی تابعی از نسبت مقاومت سیکلی است. نسبت مقاومت سیکلی (CRR) نیز از طریق آزمایش نفوذ استاندارد بدست می آید. نهایتا مقاومت خاک در برابر روانگرایی به صورت رابطه (۴) بدست می آید.

رابطه (۴) σCRR.Ka.K= مقاومت خاک در برابر روانگرایی

در رابطه (۴) ضریب اصلاح تنش برشی اولیه و ضریب اصلاح فشار سربار مؤثر می باشد. در نهایت ضریب اطمینان به صورت رابطه (۵) قابل تعیین می باشد.

رابطه (۵) $$F.S=\frac{CRR.k_{\alpha}.k\sigma}{CSR}.MSF$$

روانگرایی در اعماقی از خاک رخ می دهد که بار گذاری سیکلی بزرگتر از مقاومت سیکلی می باشد و یا به عبارتی دیگر ضریب اطمینان روانگرایی کمتر از یک باشد.

۶– روش کرنش دوره ای

در تقابل با روش تنش و به منظور یافتن گزینه ای دیگر برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی (۱۹۸۹) Dobry تا پدیده ی روانگرایی را از دیدگاه کرنش برشی تفسیر نمایند[۷]. در روش کرنش فرض می شود که به جای تراکم نسبی، کرنش برشی تناوبی افزایش فشار آب منفذی در طی زلزله را کنترل می نماید. با انجام مجموع هایی از آزمایشهای سه محوری تناوبی تحت

شرایط کنترل کرنش، این محققان نشان دادند که پیش از وقوع هرگونه اضافه فشار آب منفذی باید یک کرنش حداقلی در خاک ایجاد شود.

این کرنش حدی که تحت عنوان کرنش آستانه ۱۴ نیز تعریف می شود، به عنوان شاخصی در ارزیابی پتانسیل روانگرایی نهشته های خاکی پیشنهاد شد دستورالعمل روش کرنش را می توان به صورت زیر جمع بندی کرد.

۷- تعیین کرنش برشی تناوبی ایجاد شده در اثر زلزله

کرنش برشی تناوبی به وسیله ی رابطه ی (۶) و با در اختیار داشتن تعداد سیکلهای معادل که از بزرگای زلزله تعیین می شود، به دست می آید.

رابطه (۶)

$$\gamma = \frac{0.65\frac{a_{\max}}{g}.\sigma_{V0}.r_d}{G_{\max}.\left(\frac{G}{G_{\max}}\right)_{\gamma}}$$

که در آن:

σ_{V0} تنش کل قائم اولیه در عمق مورد نظر

$G_{\max}$: مدول برشی بیشینه، متناظر با $\gamma = 10^{-4}\%$

$\left(\frac{G}{G_{\max}}\right)_{\gamma}$: نسبت مدول های برشی متناظر با γ و $\gamma = 10^{-4}\%$

$a_{\max}$: شتاب بیشینه ی افقی بر روی سطح زمین؛

g: شتاب ثقل؛

r_d : فاکتور کاهش تنش برشی در عمق به علت طبیعت شکل پذیر خاک

با توجه به این که نسبت $\left(G/G_{\max}\right)$تابعی از کرنش برشی (γ) است، رابطه ی (۶) باید به صورت تکراری و با استفاده ازمنحنی فرو افت مدول برشیِ وابسته به لایه ی خاک مورد نظر حل شود. این منحنی که رفتار کاهشی مدول برشی را در قالب تغییرات مدول همپایه شده با کرنش برشی نشان می دهد، با استفاده از آزمو نهای آزمایشگاهی شامل آزمون ستون تشدید درمحدوده ی کرنشهای کوچک به همراه آزمون های تناوبی نظیر سه محوری تناوبی و برش ساده ی تناوبی در محدوده ی کرنش های بزرگ به دست می آید. در شرایطی که انجام این آزمون ها امکانپذیر نباشد، می توان از منحنی های معیار پیشنهاد شده برای انواع خاک ها استفاده کرد. Seed and Idriss (۱۹۷۰) اولین منحنی های فرو افت مدول برشی و میرایی را برای ماسه ها پیشنهاد کردند[۸]. پس از آن منحنی های مشابه ی برای خاک های و به صورت تابعی از شاخص خمیری Vucetic and Dobry ۱۹۹۱ و Sun ۱۹۹۸ ارائه شد که در مقاصد عملی نیز دارای کاربرد وسیعی می باشند[۷].

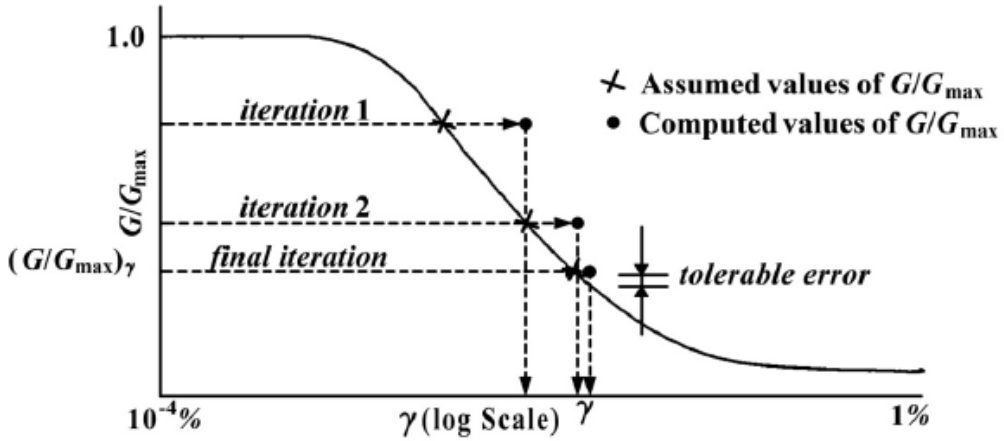
حل تکراری معادله ی (۶) که به صورت هندسی در شکل (۲) نشان داده شده است، در قالب گام های زیر بیان می شود.

گام ۱: مقدار اولیه ای برای $\left(G/G_{\max}\right)$ محاسبه می شود.

گام ۲: از معادله ی(۴-۳) مقدار (γ) متناسب با مقدار فرض شده‌ی $\left(G/G_{\max}\right)$ محاسبه می شود .

گام ۳: با توجه به مقدار (γ) محاسبه شده در گام ۲ $\left(G/G_{\max}\right)$ از روی منحنی فروافت مدول برشی خوانده می شود.

گام ۴: : به منظور محاسبه ی γ در تکرار بعدی، مقدار $\left(G/G_{\max}\right)$ حاصل از گام ۳ به گام ۲ برده می شود واین فرآیند تا زمانی که مقادیر نسبت های مدول فرض شده و محاسبه شده در محدوده ی خطای قابل قبول قرار گیرد، تکرار می شود.



شکل ۳- دیاگرام برای تعیین کرنش برشی (γ) در عمق مورد نظر از نیمرخ

۸- مقایسه روش تنش دوره ای با روش کرنش دوره ای

روش کرنش دوره ای به لحاظ ساختار عملکردی مشابه روش تنش دوره ای می باشد. اما از آنجایی که بار گذاری و مقاومت به جای تنش بر حسب کرنش ها تعیین شده اند، لذا روش کرنش دوره ای ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی نمی تواند ارائه دهد. مزیت اصلی روش کرنش دوره ای به دلیل وجود رابطه منطقی بین فشار آب حفره ای اضافی و کرنش دوره ای می باشد، چرا که اضافه فشار آب حفره ای را می توان از روش کرنش دوره ای دقیق تر از روش تنش دوره ای به دست آورد. از طرفی تاریخچه زمانی کرنش برشی را می توان از تحلیل پاسخ زمین بدست آورد که این رویکرد شاید ضعیف ترین رابطه در روش کرنش دوره ای باشد. پس پیش بینی دقیق کرنش های دوره ای به مراتب مشکل تر از تنش های دوره ای بوده وبه دلیل این صعوبت در پیش بینی، روش کرنش دوره ای در کاربردهای مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای به اندازه روش تنش دوره ای متداول نگشته است .

۹- روش انرژی تلف شده

در فرآیند روانگرایی، انرژی به طور پیوسته در تماس های اصطکاکی ایجاد شده از دست می رود. تعدادی از محققان، انرژی تجمعی مستهلک شده تا حد روانگرایی را به عنوان معیار ونشانه مهمی برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی در نظر گرفتند. از آن به بعد تعداد زیادی از آزمایشات آزمایشگاهی وصحرایی برای تشخیص فاکتورهای موجود جهت ایجاد روانگرایی ومکانیسم آن انجام شده است. روانگرایی در واقع مشتمل بر ویران شدن اسکلت خاک به واسطه ایجاد برشی است که با استهلاک انرژی به علت اصطکاک بین ذرات خاک همراه می باشد مقدار انرژی مستهلاک شده مورد نیاز برای نرم شدن خاک و روانگرایی اولیه به خصوصیات اصطکاکی ذرات خاک، دانسیته خاک (که ارتباط مستقیم با کمیت وکیفیت تماسی ذرات دارد) وتنش محدود کننده بستگی دارد. از این رو انرژی تجمعی مستهلاک شده تا حد روانگرایی(wl) به عنوان یک معیار مهم و موثر برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک های مستعد روانگرایی می باشد. این ایده همچنین منجر به ایجاد پارامتری به نام انرژی پایه برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی گردیده است[۹]. به طور کلی انرژی ذخیره شده در سنگ بستر در اثر به وقوع پیوستن زلزله، به صورت های گرما، اصطکاک، له شدن سنگ ها انتشار امواج لرزه ای آزاد می شود که در نهایت، امواج به صورت موج فشاری و برشی گسترش می یابد. در حین انتشار امواج در پروفیل خاک به دلیل پراکنده شدن امواج، شرایط هندسی، فعل و انفعال سیستم خاک اشباع که منجر به رفتار غیر خطی خاک می شود انرژی استهلاک می یابد[۱۰].

Nasser and shokooh(۱۹۷۹) مفهوم انرژی را برای آنالیز و بررسی روانگرایی خاک های غیر چسبنده معرفی کردند. پایه و اساس مفهوم پیشنهادی بر این اصل استوار است که در طول اعمال بار دینامیکی قسمتی از انرژی زلزله در خاک مستهلک می

شود که استهلاک انرژی ایجاد شونده می توان از مساحت حلقه هیستریسیس(تنش-کرنش)مشخص شود[۱۱]. انرژی مستهلک شده در واحد حجم تا حد روانگرایی، هر دو پارامتر دامنه کرنش برشی و تعداد سیکل ها را تحت پوشش قرار می دهد و ترکیبی از تاثیر تنش و کرنش می باشد[۱۰]. به دلیل اینکه انرژی مستهلک شده در واحد حجم در روانگرایی خاک مستقل از نوع بارگذاری(یکنواخت یا نامنظم) می باشد لذا روش انرژی در مقایسه با روش های دیگر تعیین پتانسیل روانگرایی خاک ها به آسانی در هنگام بارگذاری نامنظم می توان این پدیده را بررسی کرد[۱۲]. از مزایای روش انرژی نسبت به روش تنش برشی و کرنش برشی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

* انرزی یک کمیت اسکالر است.
* نیازی به تجزیه و بررسی تاریخچه تنش برشی جهت یافتن تعداد سیکل های معادل برای انتخاب تراز کرنش وتنش نیست.
* روش انرژی شامل تنش وکرنش بوده، پس خواص مکانیکی خاک را نیز تحت پوشش قرار می دهد.
* روش انرژی مستقل از نوع واگذاری ومسیر تنش می باشد ودر مقابل به فشار موثر محدود کننده، دانسیته خاک ودامنه کرنش برشی بستگی دارد.
* قابلیت ارتباط با پارامترهای زلزله واقعی را دارد.

۱۰- ارتباط انرژی مستهلک شده با اضافه فشار آب حفره ای

به طور کلی انرژی انتشار یافته تا زمان به وقوع پیوستن پدیده روانگرایی در خاک، مستهلک می شود که به صورت افزایش فشار آب حفره ای در خاک نمایان می گردد. افزایش اضافه فشار آب حفره ای در خاک و سپس ایجاد رفتار غیر خطی منجر به نرم شدگی خاک شده ومنجر به ایجاد انرژی کرنشی تجمعی در حین وقوع روانگرایی می شود[۱۳] .

تحقیقات (۱۹۹۴) Figueroa نشان داد که یک رابطه بسیار منحصر به فرد وتنگاتنگی بین انرژی مستهلک شده در واحد حجم با اضافه فشار آب حفره ای تولید شده در خاک وجود دارد، به طوری که در آن مقدار ماکزیمم انرژی تجمعی مستهلک شده منطبق برماکزیمم فشار آب حفره ای اضافی می باشد. درخاکهای اشباع متراکم شدن سبب افزایش آب حفره ای اضافی وکاهش نیروی تماسی بین ذرات می گردد. با کاهش نیروهای تماسی مقدار انرژی لازم برای جابه جایی ذرات خاک کاهش می یابد. برپایه آنالیز انرژی استهلاک یافته در طول اصطکاک تماسی ذرات، ملاحظه شده است که افزایش انرژی استهلاک یافته در واحد حجم خاک به واسطه افزایش دامنه کرنش برشی $\gamma\Delta$ حاصل می شود.

۱۱- روند گام به گام برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از روش انرژی تلف شده

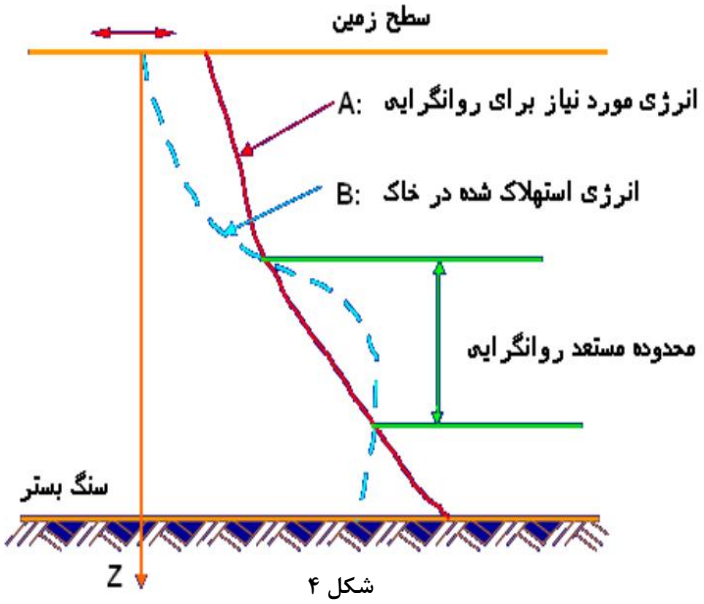
در روش انرژی تلف شده با به دست آوردن تاریخچه های تنش برشی وکرنش برشی در موقعیتهای مشخص می توان از طریق گام های ارائه شده پتانسیل روانگرایی را تعیین کرد .

تعیین انرژی در واحد حجم مورد نیاز برای روانگرایی خاک (متناظر با مقاومت روانگرایی خاک)

تعیین انرژی در واحد مستهلک شده در خاک در طول اعمال بار دینامیکی به خاک. انرژی در واحد حجم جذب شده ($\Delta \dot{W}$) در نمونه به دلیل ایجاد روانگرایی، از طریق رابطه ۷ که توسط (۱۹۹۴) Figueroa ارائه گردیده محاسبه می شود در رابطه ۷، n تعداد رکوردها می باشد[۱۱]. رابطه مذکور نشان می دهد که انرژی به صورت تجمعی افزایش پیدا می کند .

رابطه (۷)
$$\delta W = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{2}.(\tau_i + \tau_{i+1}).(\gamma_{i+1} - \gamma_i)$$

تعیین پتانسیل روانگرایی . مراحل گام به کام ذکر شده به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است با توجه به شکل ۲ در شرایطی که مقدار انرژی مستهلک شده در خاک بیشتر از انرژی مورد نیاز برای روانگرایی بوده، آن محدوده مستعد روانگرایی خواهد بود.



شکل ۴

۱۲- نتیجه گیری

انرژی پتانسیل روانگرایی یکی اقدامات مهمی است که باید در مناطق مستعد روانگرایی انجام شود که در صورت لزوم از تکنیک های موجود برای مقابله با پدیده روانگرایی استفاده شود . لذا شناخت روشهای مختلف جهت بررسی روانگرایی ورسیدن به نتایج رضایت بخش از اهمیت بالایی برخوردار می باشد آنچه که در بحث روانگرایی با توجه به مطالب ارائه شده مهم به نظر می رسد عبارتنداز :

- تولید شدن اضافه فشار آب حفره ای به صورت اساسی تری به کرنش های سیکلی وابسته می باشد.
- روانگرایی در اثر افزایش فشار آب حفره ای اضافی ناشی ار کرنش ایجاد می شود از طرفی چون روش انرژی بر پایه تنش برشی و کرنش برشی استوار می باشد ، لذا رابطه منطقی تری بین انرژی استهلاک یافته با نسبت اضافه فشار حفره ای وجود دارد .
- کاربرد روش تنش وکرنش سیکلی نیازمند تبدیل تاریخچه زمانی نامنظم تنش برشی به یک سری سیکلهای تنش یکنواخت معادل می باشد، در حالی که این کار در روش انرژی لازم نمی باشد .
- به طور کلی انرژی انتشار یافته تا زمان به وقوع پیوست پدیده روانگرایی در توده خاک مستهلک می شود که به صورت افزایش فشار آب حفره ای بین ذرات خاک در طول بارگذاری دینامیکی می باشد .
- انرژی استهلک شده در واحد حجم در اثر روانگرایی خاک مستقل از نوع واگذاری (یکنواخت یا نامنظم) می باشد، لذا روش انرژی در مقایسه با روش های دیگر تعیین پتانسیل روانگرایی خاک ها به طور منطقی تری در هنگام واگذاری نامنظم، این پدید ه را بررسی می کند.

۱۳- منابع

[۱] میر حسینی، سید مجد الدین، " مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای" موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

[1] Ishihara, K. (1993)." Kiquefaction And Failure during Earthquake".J.Geotechnial 43, No.3,PP.351-415.

[2] Port and harbor research institute, ministry of transport, Japan. (1997). "Handbook on liquefaction remediation of reclaimed land." A. A. Balkema, Rotterdam.

[3] Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMFE. (1993). Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazard. Published By the Hapanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineerin g.

[4] Youd T. L. and Idriss I.M.(2001). "Liquefaction resistance of soils:summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. "J. Geotech. Geoenviron.eng. 127(10), pp. 817-833

[5] Idriss, I.M. and Seed, H.B. (1968). "Seismic Response of Horizontal Soil Layers". Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 94, SM4, 1003 – 1031.

[6] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971), "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97(SM9), pp.1249-1273.

[7] Dobry, R. (1989), "Some Basic Aspects of Soil Liquefaction During Earthquakes", Earthquake Hazards and the Design of Constructed Facilities in the Eastern United States, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 558, pp. 172-182.

[8] Idriss, I. M. (1999), "An update to the Seed-Idriss simplified procedure for evaluating liquefaction potential", Proceedings of the TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction, January, Publication No. FHWA-RD-99-165, Federal Highway Administration.

[9] Nemat-Nasser, S. and Shokooh, A. (1979). "A Unified Approach to Densification and Liquefaction of Cohesionless Sand in Cyclic Shearing," Canadian Geotechnical Journal, Vol. 16, pp. 659-678.

[10] Figueroa, J. L. (1990). "A Method for Evaluating Soil Liquefaction by Energy Principles," Proceedings, Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, CA , May.

[11] Figueroa, J.L., Saada, A.S., Liang, L. and Dahisaria, M.N. (1994). "Evaluation Of Soil Liquefaction By Energy Principles," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 9, September, 1554-69.

[12] Jafarzadeh, F. Yanagisawa, E. (1994). "Shaking table tests for studying the effects of load irregularity on the behaviour of liquefiable sands", Department of civil engineering, Tohoku University, Sendai, Japan.

[13] Christian, j.j, ladd, c.c and beacher, g.b.(1992). "Reliability and probability in stability analysis". ASCE, Geotechnical Spatial Publication, 12, pp.107-1111.