



نهمین کنفرانس ملی مهندسی عمران
9th National Congress on Civil Engineering



بسم تعالی

کوبای ارائه مقاله

کوبای می شود مقاله ای با مشخصات ذیل در نهمین گنگره ملی مهندسی عمران ارائه و در مجموع مقالات این گنگره درج گردیده است.

عنوان مقاله: بررسی و ارزیابی روانگرایی در پی سد های بتنی (مطالعه موردی سد شورجیا)

نویسنده: حمیدرضا قاضی، علی اخترپور



۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ۱۳۹۵ | دانشگاه فردوسی مشهد | دانشکده مهندسی
Faculty of Engineering | Ferdowsi University of Mashhad
May 10 - 11, 2016



بررسی و ارزیابی وقوع روانگرایی در پی آبرفتی سدهای خاکی (مطالعه موردی سد شوریجه)

حمیدرضا فتی^۱، علی اخترپور^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی خاک و پی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

fatahamidreza@gmail.com

خلاصه

روانگرایی یکی از پدیده‌های مخرب در خاک‌ها و سازه‌های خاکی می‌باشد. روانگرایی زمانی رخ می‌دهد که افزایش اضافه فشار آب حفره‌ای، باعث کاهش مقاومت برشی در خاک می‌شود. این کاهش مقاومت برشی منجر به جوشش ماسه‌ها از حفرات زمین، کاهش ظرفیت باربری، گسترش جانبی خاک، نشست‌های عظیم و ناپایداری در خاکریزها و سدهای خاکی می‌شود. تحمیل هزینه‌های سنگین مالی و جانی ناشی از این پدیده، دانشمندان علم ژئوتکنیک را بر آن داشت که به تعیین معیارهایی جهت ارزیابی وقوع این پدیده بپردازند. با توجه به اینکه بسیاری از سدهای ایران و جهان خاکی بوده و بر روی بستر آبرفتی بنا شده و می‌شوند و امکان وقوع روانگرایی در اینگونه سازه‌ها محتمل است، لذا جهت جلوگیری از وقوع اثرات مخرب روانگرایی نیاز است که وقوع و یا عدم وقوع این پدیده بررسی شود. در مطالعه پیش رو به بررسی و ارزیابی وقوع این پدیده در پی سد خاکی شوریجه پرداخته خواهد شد. با توجه به جدیدترین معیارهای ارائه شده، مشاهده شد که در برخی نواحی از پی آبرفتی سد مورد مطالعه، امکان وقوع روانگرایی وجود دارد.

کلمات کلیدی: روانگرایی، اضافه فشار آب حفره‌ای، پی آبرفتی، سد خاکی، مطالعه موردی

۱. معرفی

کلیت تنش در خاک بر اساس آنچه ترزاکی بیان نموده شامل تنش تحمل شونده توسط ذرات خاک و تنش تحمل شونده توسط آب می‌باشد. با افزایش فشار آب حفره‌ای (تولید اضافه فشار آب حفره‌ای)، (چه در حالت استاتیکی و چه در حالت دینامیکی) سهم تحمل تنش توسط آب بیشتر شده و به همین نسبت سهم تحمل تنش توسط ذرات خاک کاهش می‌یابد، به طوری که خاک آبنگوه و به اصطلاح مهندسی روانگرا می‌شود. این رخداد موجب کاهش مقاومت برشی و ظرفیت باربری در خاک و به موجب آن وقوع نشست و فرورفتن اجسام به داخل خاک می‌شوند. از دیگر ناملازمات وقوع روانگرایی، جوشش ماسه از حفرات زمین، تخریب راه‌ها و جاده‌ها، جابجایی و شکست لوله‌ها و تاسیسات شهری و بین شهری، ناپایداری‌ها در خاکریزها و سدهای خاکی می‌باشد، که هزینه‌های مالی و جانی سنگین را موجب می‌شود. در سال ۱۹۷۱ وقوع روانگرایی در San-Fernando ایالات متحده، موجب تخریب سد San-Fernando شد [۱]. تحمیل هزینه‌های جانی و مالی غیرقابل جبران و دیگر اثرات مخرب این پدیده، مهندسین و دانشمندان علم ژئوتکنیک را بر آن داشت که به تعیین معیارهایی جهت ارزیابی وقوع این پدیده در خاک بپردازند.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد

^۲ استادیار دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران



۲. پیشینه تحقیق

پس از وقوع پدیده مخرب روانگرایی در مناطق مختلف جهان، مطالعات آزمایشگاهی و عددی مختلف جهت ارزیابی وقوع این پدیده، نحوه وقوع و تولید اضافه فشار آب حفره‌ای در محیط‌های متخلخل مانند خاک و حتی اثرات پس از روانگرایی بر روی نمونه‌ها و ساختگاه‌های مختلف انجام گرفته است. در این مطالعه به بررسی ارزیابی پتانسیل وقوع روانگرایی در خاک و ساختگاه‌های خاکی پرداخته شده است. از جمله مطالعاتی که در زمینه ارزیابی وقوع روانگرایی در پی سدهای خاکی انجام گرفته است، می‌توان به مطالعه نقی‌لو و مهین‌روستا در سال ۱۳۸۸ بر روی پی سد سیمینه رود اشاره کرد که در این مطالعه مشاهده شد که پی آبرفتی سد مورد مطالعه در سطح MCL روانگرا می‌شود [۲]. مطالعه کرباسی در سال ۱۳۸۵ بر روی سد گلابر نشان داد که تمامی نواحی مشکوک به روانگرایی منجر به روانگرایی خواهند شد، اما به دلیل کم بودن عمق لایه‌های روانگرا شده، اثرات پس از روانگرایی چندان وسیع پیش‌بینی نشد [۳]. سروش و آقایی‌آرایی نیز در سال ۱۳۸۵ به بررسی روانگرایی در پی‌های آبرفتی و روش‌های علاج بخشی آن پرداختند [۴]. در مطالعه ای که برزگری و ارومیه‌ای در سال ۱۳۸۵ جهت ارزیابی روانگرایی در پی آبرفتی سد مخزنی چپرآباد پرداختند، مشاهده شد که در سطح MCE، نواحی مشکوک به روانگرایی، روانگرا شد [۵]. در مطالعه ارزیابی روانگرایی بر اساس نتایج SPT که کوزه‌گر در سال ۱۳۹۰ بر روی بدنه و پی سد ستارخان انجام شد نشان داد که در زلزله ای به بزرگای ۷ ریشتر و شتابی معادل $0.23g$ ، در برخی نواحی روانگرایی رخ خواهد داد [۶]. مطالعاتی که به ارزیابی روانگرایی در خاک‌ها می‌پردازند بر اساس معیارها و روش‌هایی هستند که در طی سالیان توسط دانشمندان مختلف ارائه شده‌اند. این معیارها بر اساس آزمون‌های آزمایشگاهی و آزمون‌های برجا بدست آمده که در این مطالعه به بررسی و مقایسه آن‌ها پرداخته شده است.

۲. روش شناسی

پدیده روانگرایی از دیرباز مورد توجه انسان قرار داشته است و همیشه به دنبال راهی جهت شناخت این پدیده بوده است. اولین مشاهدات بر روی روانگرایی که بر اساس جنس خاک‌ها انجام شد، نشان داد که خاک از جنس رس به دلیل چسبندگی میان ذرات، غالباً روانگرا نمی‌شوند و اکثراً ماسه‌ها روانگرا می‌شوند.

از اولین مطالعات آزمایشگاهی جهت ارزیابی روانگرایی توسط Seed و همکاران در سال ۱۹۶۶ و با استفاده از دستگاه سیکلی بر روی نمونه‌های ماسه نیمه متراکم تا متراکم در شرایط زهکشی نشده انجام شد، که اضافه فشار آب حفره‌ای تولید شده منجر به روانگرایی گردید [۹]. اما با توجه به هزینه‌بر بودن انجام نمونه‌گیری، امکان دست خورده شدن نمونه در مسیر انتقال به آزمایشگاه، پیچیده و زمان‌بر بودن فرآیند آزمایش و هزینه‌های بالای ساخت، تامین و نگهداری از دستگاه‌های سیکلی، باعث شد تا دانشمندان به دنبال روش‌هایی باشند که فرآیند ارزیابی روانگرایی را ساده‌تر، کم هزینه‌تر و با دسترسی بیشتر نماید. تحقیقات دانشمندان بر روی آزمون‌های برجا که هم از نظر زمانی و هم از نظر اقتصادی و هم از نظر در دسترس بودن امتیازهای ویژه‌ای دارند انجام گرفت.

آزمون‌های درجای متعدد، استفاده گسترده‌ای برای ارزیابی مقاومت روانگرایی دارند. این آزمون‌ها شامل تست نفوذ استاندارد SPT، تست نفوذ مخروط CPT، اندازه‌گیری سرعت موج برشی V_s و تست نفوذ Becker می‌باشند. آزمایشات SPT و CPT به صورت کلی، به دلیل تجربه گذشته و پایگاه اطلاعاتی گسترده، ترجیح داده می‌شوند. اما دیگر تست‌ها می‌توانند در مواردی که در بستر آن رسوبات دانه‌ای یا کارگاه‌هایی که دسترسی به تجهیزات ویژه دارند انجام شوند [۸].

۳. ارزیابی نسبت‌های CSR و CRR

دانشمندان جهت ارزیابی روانگرایی به معرفی و مقایسه دو نسبت CSR و CRR پرداختند که به ترتیب، CSR مخفف Cyclic Stress Ratio و به معنای نسبت تنش سیکلی و CRR مخفف Cyclic Resistance Ratio و به معنای نسبت ظرفیت سیکلی می‌باشند. چنانچه CSR بزرگتر یا مساوی CRR باشد روانگرایی رخ می‌دهد. Seed و Idriss در سال ۱۹۷۱ رابطه (۱) را برای محاسبه نسبت تنش سیکلی ارائه کردند [۸]:

$$CSR = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{av}} \right) = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_{v.}} \right) r_d \quad (1)$$

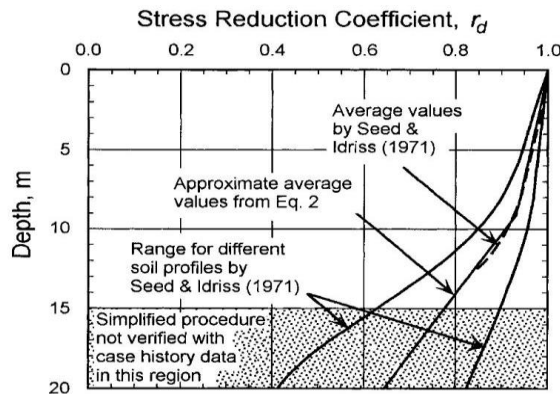
که در آن a_{max} ، بیشینه شتاب افقی در سطح زمین که با زمین لرزه وجود می‌آید، g ، شتاب گرانش، σ_v و σ'_v که به ترتیب تنش کل و تنش موثر قائم سربار و r_d ، ضریب کاهش تنش می‌باشند. این رابطه تاکنون دچار تغییر چندانی نشده است.

برای محاسبه r_d چندین رابطه توسط دانشمندان مختلف ارائه شده است. Liao و Whitman در سال ۱۹۸۶ رابطه (۲) را ارائه دادند [۸]:

$$r_d = 1/0 - 0/00765 Z \quad \text{برای} \quad Z \leq 9/15 \text{ m} \quad (2 \text{ الف})$$

$$r_d = 1/174 - 0/0267 Z \quad \text{برای} \quad 9/15 \text{ m} \leq Z \leq 23 \text{ m} \quad (2 \text{ ب})$$

مقادیر رابطه (۲) توسط Seed و Idriss در سال ۱۹۷۱ به صورت شکل ۱ ارائه شد [۸]:

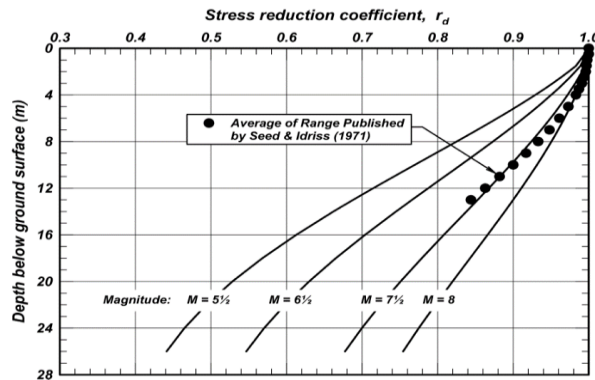


شکل ۱- r_d در برابر عمق توسط Seed و Idriss به همراه خطوط کشیده شده از معادله [۸]

سپس Blake در سال ۱۹۹۶ رابطه (۳) را با توجه به شکل ۱ ارائه داد [۸]:

$$r_d = \frac{(1/0000 - 0/4113 Z^{0.5} + 0/04052 Z + 0/01753 Z^{0.5})}{(1/0000 - 0/4177 Z^{1.5} + 0/05729 Z - 0/06205 Z^{1.5} + 0/01210 Z^2)} \quad (3)$$

Idriss نیز در سال ۱۹۹۹ نمودار فوق را برای مقادیر مختلف بزرگای زلزله بر مبنای ریشتر تعمیم داد، که در شکل ۲ مشاهده می‌شود [۹].



شکل ۲ - تغییرات r_d در برابر عمق و مقادیر بزرگای زلزله [۹]

شکل ۲ به صورت رابطه (۴) ارائه شده است:

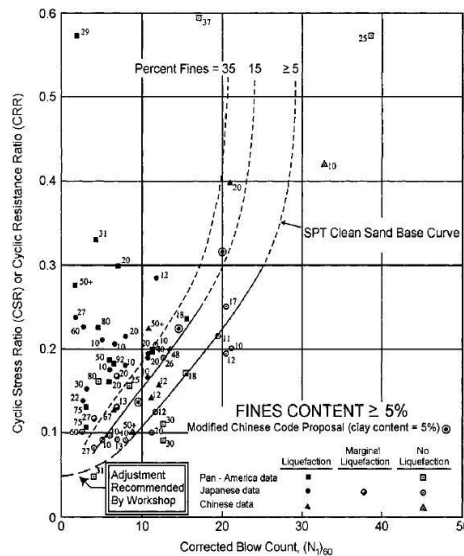
$$r_d = \exp(\alpha(z) + \beta(z)M) \quad (4 \text{ الف})$$

$$\alpha(z) = -1/012 - 1/126 \sin\left(\frac{z}{11.37} + 5/133\right) \quad (4 \text{ ب})$$

$$\beta(z) = 0/106 + 0/118 \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5/142\right) \quad (4 \text{ پ})$$

یک روش قابل قبول برای ارزیابی CRR، بازیابی و آزمایش نمونه‌های دست نخورده در آزمایشگاه می‌باشد. از جمله ضعف‌های آزمون‌های آزمایشگاهی این است که حالت‌های اصلی تنش در محل را نمی‌توان در آزمایشگاه مجدداً بازسازی کرد و نمونه‌های خاک‌های دانه‌ای که با استفاده از دریلینگ و تکنیک‌های نمونه‌گیری معمول بدست می‌آیند، به دلیل دست‌خورده شدن، برای حصول نتایج دقیق مناسب نیستند. تنها با تکنیک‌های خاص نمونه‌گیری مانند منجمد کردن سطح می‌توان نمونه‌های به اندازه کافی دست‌خورده بدست آورد. هزینه چنین روش‌هایی معمولاً برای همه پروژه‌ها و نه برای اکثر پروژه‌های حساس، گران می‌باشد [۸]. لذا سعی می‌شود از آزمون‌های برجا برای ارزیابی روانگرایی استفاده شود. در میان این آزمون‌ها، آزمون نفوذ استاندارد یا SPT، به دلیل استفاده آسان‌تر و کاربرد بیشتر، در اکثر موارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یکی از معیارهای معتبر در زمینه ارزیابی روانگرایی معیار Seed و همکاران که در سال ۱۹۸۵ ارائه شد می‌باشد. عرصه معیارهای ارزیابی ظرفیت روانگرایی بر اساس SPT در طی سالیان نسبتاً قوی بوده است. این عرصه به صورت تقابل CSR در برابر $(N_1)_p$ تعداد ضربه اصلاح شده با نیروی وارده 100 kPa (۱ تن / فوت مربع) و نسبت انرژی چکش با راندمان ۶۰٪ می‌باشد. سایت‌هایی که روانگرایی با بزرگای زلزله ۷/۵ ریشتر در آن‌ها به وقوع پیوسته، در شکل ۳ ترسیم شده است. منحنی‌های CRR در شکل ۳ تنها برای زلزله‌های با بزرگای ۷/۵ ریشتر معتبر هستند [۸].



شکل ۳ - منحنی پایه SPT شن و ماسه تمیز برای زلزله با بزرگای ۷/۵ ریشتر با داده‌هایی از مطالعات تاریخی روانگرایی تهیه شده توسط Seed و همکاران ۱۹۸۵ [۸]

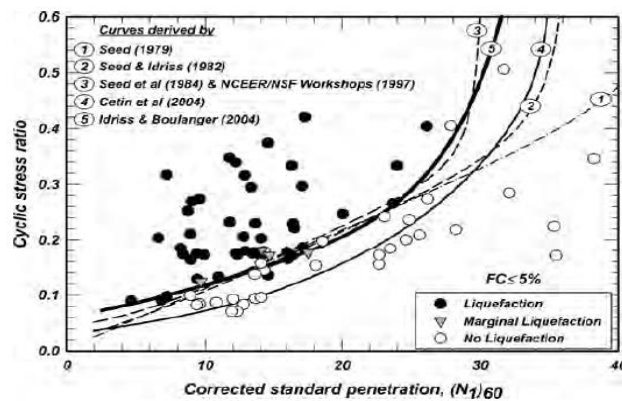
در دانشگاه A.F. Rouch, Texas، منحنی پایه ماسه تمیز که در شکل ۳ نمایش داده شده را حدوداً به رابطه (۵) تبدیل نمود [۸]:

$$CRR_{7/5} = \frac{1}{24 - (N_1)_p} + \frac{(N_1)_p}{135} + \frac{5}{(10(N_1)_p + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (5)$$

این رابطه تنها برای $(N_1)_p$ های کوچکتر از ۳۰ معتبر است. برای $(N_1)_p$ بزرگتر و مساوی ۳۰ خاک‌های دانه‌ای تمیز خیلی برای روانگرا شدن متراکم می‌باشند و به عنوان غیر روانگرا دسته‌بندی می‌شوند [۸]. Boulanger و Idriss در سال ۲۰۰۴ با ارائه منحنی شکل ۴ که شامل برهم نهی منحنی‌های مطالعات دانشمندان گذشته نیز می‌باشد، معیار جدیدی را معرفی کردند. این معیار در رابطه (۶) به صورت زیر است [۹]:

$$CRR_{7/5} = K_\sigma \times K_\alpha \times \exp\left(\frac{N_1(\rho, CS)}{14/1} + \left(\frac{N_1(\rho, CS)}{126}\right)^2 - \left(\frac{N_1(\rho, CS)}{23/6}\right)^3 + \left(\frac{N_1(\rho, CS)}{25/6}\right)^4\right) \quad (6)$$

که K_σ ، فاکتور اصلاحی سربار، K_α ، فاکتور اصلاحی تنش‌های برشی استاتیکی اولیه، که این فاکتور در این مطالعه در جهت اطمینان برابر واحد در نظر گرفته شده، $N_1(\rho, CS)$ ، عدد SPT اصلاح شده برای ماسه تمیز می‌باشند. مقادیر فاکتورهای موجود در رابطه (۶) از روابط (۷) تا (۹) محاسبه می‌شوند. یکی از کاستی‌های رابطه Rouch (رابطه (۵)) این است که برای اعداد SPT، بزرگتر یا مساوی ۳۰ معتبر نمی‌باشد از این رو می‌توان رابطه Boulanger و Idriss (رابطه (۶)) را رابطه جامع‌تری دانست.



شکل ۴- منحنی پایه SPT شن و ماسه تمیز برای زلزله با بزرگای ۷/۵ ریشتر [۹]

$$K_{\sigma} = 1 - C_{\sigma} \ln \left(\frac{\sigma'_{va}}{P_a} \right) \leq 1/1 \quad (7)$$

$$C_{\sigma} = \frac{1}{18.9 - 2.55 \sqrt{N_{1(FC)}}} \leq 0.3 \quad (8)$$

$$N_{1(FC)} = \Delta N_{1(FC)} + C_N \times N_{SPT} \quad (9)$$

که فاکتورهای موجود در رابطه (۹) از روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌شوند:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{va}} \right)^{0.5} \leq 1/7 \quad (10)$$

$$\Delta N_{1(FC)} = \exp \left(1/63 + \frac{9/\sqrt{FC}}{FC} - \left(\frac{15/\sqrt{FC}}{FC} \right)^2 \right) \quad (11)$$

که σ'_{va} ، تنش موثر سربار، P_a ، فشار اتمسفر می‌باشند.

از آنجا که بررسی لرزه خیزی محل نشان داده حداکثر زلزله نزدیک به محدوده پروژه با بزرگای ۶/۸ ریشتر بوده است لذا باید مقادیر CRR را که برای زلزله با بزرگای ۷/۵ ریشتر بدست آمده را برای زلزله با بزرگای ۶/۸ ریشتر اصلاح نمود. در روابط (۱۲) و (۱۳) این اصلاحات نشان داده شده است.

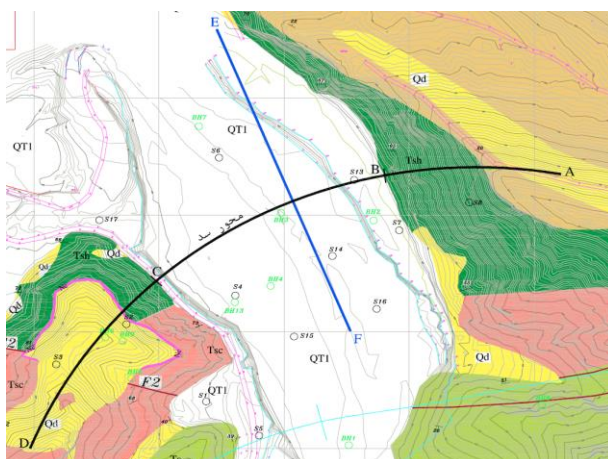
$$CRR_{m=6/8} = CRR_{m=7/5} \times MSF \quad (12)$$

$$MSF = 6/9 \exp \left(-\frac{M}{4} \right) - 0.058 \leq 1/8 \quad (13)$$

بر اساس این روابط و مقایسه دو نسبت CSR و CRR، به وقوع و یا عدم وقوع روانگرایی در ساختگاه مورد نظر پرداخته شد.

۴. ارزیابی روانگرایی در پی آبرفتی سد شوربجه

سد مخزنی شوربجه بر روی رودخانه کشف‌رود، با ارتفاع ۴۶ متر و هسته رسی در دست احداث می‌باشد. مقطع تیپ سد در شکل ۶ قابل مشاهده است. عمق پی آبرفتی سد مورد مطالعه حدود ۱۶ متر می‌باشد. در حفاری‌های صورت گرفته در بالادست و پایین دست سد، و اخذ نمونه‌ها و انجام آزمون‌های اولیه بر روی این نمونه‌ها، مشاهده شد جنس پی آبرفتی غالباً ماسه و ماسه سیلت‌دار می‌باشد. از آنجا که ماسه‌ها و حتی ماسه‌های سیلت دار قابلیت روانگرایی دارند، ارزیابی احتمال وقوع روانگرایی در این حوزه، حائز اهمیت می‌باشد. همانطور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، گمانه‌های S۶، S۱۴ و S۱۶ در راستای محور سد قرار دارند و این گمانه‌ها جهت ارزیابی روانگرایی انتخاب شدند [۱۰].



شکل ۵- موقیبت گمانه‌ها و محور سد شوربجه [۸]

ساختمان سد شوربجه از نظر تقسیمات لرزه زمین ساختی در زون کپه داغ و ایران قرار دارد. بررسی زمین لرزه‌های روی داده در محدوده طرح بیانگر سطح بالای لرزه‌خیزی در این منطقه می‌باشد. در محدوده ساختمان سد زمین‌لرزه‌های متعددی رخ داده و گسل‌های بزرگ و اصلی و در حال فعالی در نزدیکی آن قرار دارند که مسبب زلزله‌های مخربی بوده‌اند و موید چشمه‌های فعال لرزه‌ای در نزدیکی محور سد هستند. بر اساس مطالعات ریسک زلزله در ساختمان سد، مقادیر بیشینه شتاب افقی زمین در سطح MCL، $0.58g$ می‌باشد. بر اساس مطالعات لرزه‌خیزی و زمین ساخت طرح، مهم‌ترین چشمه‌های لرزه‌زای خطی نسبت به ساختمان سد شوربجه، گسل‌های شاه‌توتک و اسماعیل‌آباد می‌باشند. این گسل‌ها با توان لرزه‌زایی $M=6/8$ در جنوب و غرب ساختمان سد قرار گرفته‌اند [۱۰]. با توجه به نتایج آزمون SPT که در محل احداث سد انجام شده است و استفاده از معیار ارائه شده توسط Idriss و Boulanger (رابطه ۶) و نیز رابطه ارائه شده توسط Roush (رابطه ۵) مشاهده می‌شود که در نواحی مختلفی از پی آبرفتی سد روانگرایی رخ می‌دهد که به شرح جداول ۱ و ۲ می‌باشد.

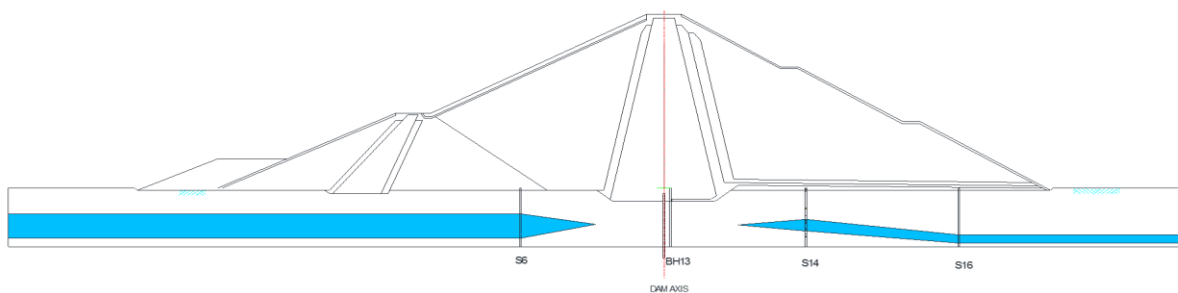
جدول ۱- ارزیابی روانگرایی پی سد شوربجه بر اساس روش Idriss و Boulanger ۲۰۰۸

گمانه	عمق لایه m	جنس لایه	درصد ریزدانه	تنش کل Kn/m ²	تنش موثر Kn/m ²	N _{SPT}	(N ₁) _{۶۰}	N _{cs} رابطه (۹)	CRR _{۷.۵} رابطه (۶)	CRR _{۶.۸} رابطه (۱۲)	r _d رابطه (۴) (الف)	CSR رابطه (۱)	وضعیت
S۶	۲/۳	GW	۴/۶	۳۶/۸	۳۶/۸	۲۲	۳۶	۳۶	۱/۶۱	۲/۱۳	۰/۹۸	۰/۳۷	یابدار
	۷	SM	۴۱/۶	۱۲۳/۶	۷۷/۹۸	۱۸	۲۰	۲۶	۰/۳۳	۰/۴	۰/۹	۰/۵۴	روانگرا
	۱۰/۶	SM	۳۶/۱	۱۹۲	۱۱۱/۱	۲۰	۱۹	۲۴	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۸۴	۰/۵۵	روانگرا
	۱۲/۶	SC-SM	۱۶/۶	۲۳۰	۱۲۹/۴	۲۰	۱۸	۲۱	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۸	۰/۵۳	روانگرا
	۱۴/۳	SC-SM	۲۵/۱	۲۶۲/۳	۱۴۵/۱	۳۶	۳۰	۳۵	۱/۰۲	۱/۱۳	۰/۷۶	۰/۵۲	یابدار
S۱۴	۸/۵	CL-ML	۶۸/۶	۱۵۷/۳	۹۴/۵۲	۱۹	۲۰	۲۵	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۸۸	۰/۵۵	روانگرا
	۱۱/۶	SM	۱۷/۶	۲۱۲	۱۱۸/۸	۱۶	۱۵	۱۹	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۸۲	۰/۵۵	روانگرا
S۱۶	۳	SM	۱۷/۶	۴۷/۶۸	۴۱/۱	۱۸	۲۸	۳۲	۰/۷۲	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۴۲	یابدار
	۵/۳	SW-SM	۶/۶	۹۱/۳۸	۶۲/۲۴	۲۷	۳۴	۳۴	۱/۰۶	۱/۴	۰/۹۴	۰/۵۲	یابدار
	۸/۷	SM	۱۷/۶	۱۵۵/۹۸	۹۳/۴۹	۲۷	۲۸	۳۱	۰/۶۴	۰/۷۸	۰/۸۷	۰/۵۵	یابدار
	۱۲/۶۵	SM	۱۷/۶	۲۳۱/۰۳	۱۲۹/۸	۲۶	۲۳	۲۷	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۸	۰/۵۳	روانگرا

جدول ۲- ارزیابی روانگرایی پی سد شوربچه بر اساس روش Rouch بر اساس منحنی Seed و همکاران ۱۹۸۵

گمانه	عمق لایه m	جنس لایه	درصد ریزدانه	تنش کل Kn/m ²	تنش موثر Kn/m ²	N _{SPT}	(N ₁) _e	N _{cs} رابطه (۹)	CRR _{v,5} رابطه (۵)	CRR _{p,8} رابطه (۱۲)	r _d رابطه (۴-الف)	CSR رابطه (۱)	وضعیت
S ₆	۲/۳	GW	۴/۶	۳۶/۸	۳۶/۸	۲۲	۳۶	۳۶	(N ₁) _e > ۳۰	(N ₁) _e > ۳۰	۰/۹۸	۰/۳۷	یابدار
	۷	SM	۴۱/۶	۱۲۳/۶	۷۷/۹۸	۱۸	۲۰	۲۶	۰/۲۶	۰/۴	۰/۹	۰/۵۴	روانگرا
	۱۰/۶	SM	۳۶/۱	۱۹۲	۱۱۱/۱	۲۰	۱۹	۲۴	۰/۲۴	۰/۳۳	۰/۸۴	۰/۵۵	روانگرا
	۱۲/۶	SC-SM	۱۶/۶	۲۳۰	۱۲۹/۴	۲۰	۱۸	۲۱	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۸	۰/۵۳	روانگرا
	۱۴/۳	SC-SM	۲۵/۱	۲۶۲/۳	۱۴۵/۱	۳۶	۳۰	۳۵	۰/۵۶	۱/۱۳	۰/۷۶	۰/۵۲	یابدار
S _{۱۴}	۸/۵	CL-ML	۶۸/۶	۱۵۷/۳	۹۴/۵۲	۱۹	۲۰	۲۵	۰/۲۵	۰/۳۶	۰/۸۸	۰/۵۵	روانگرا
	۱۱/۶	SM	۱۷/۶	۲۱۲	۱۱۸/۸	۱۶	۱۵	۱۹	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۸۲	۰/۵۵	روانگرا
S _{۱۶}	۳	SM	۱۷/۶	۴۷/۶۸	۴۱/۱	۱۸	۲۸	۳۲	۰/۴۵	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۴۲	یابدار
	۵/۳	SW-SM	۶/۶	۹۱/۳۸	۶۲/۲۴	۲۷	۳۴	۳۴	(N ₁) _e > ۳۰	(N ₁) _e > ۳۰	۰/۹۴	۰/۵۲	یابدار
	۸/۷	SM	۱۷/۶	۱۵۵/۹۸	۹۳/۴۹	۲۷	۲۸	۳۱	۰/۴۴	۰/۷۸	۰/۸۷	۰/۵۵	روانگرا
	۱۲/۶۵	SM	۱۷/۶	۲۳۱/۰۳	۱۲۹/۸	۲۶	۲۳	۲۷	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۸	۰/۵۳	روانگرا

با توجه به اینکه رابطه Idriss و Boulanger (رابطه (۶)) به دلیل شامل شدن اعداد SPT بالاتر از ۳۰، روابطی دقیق‌تر نسبت به رابطه Rouch (رابطه (۵)) می‌باشند، لذا نواحی روانگرا شده بدست آمده از رابطه (۶) و با توجه به موقعیت گمانه‌ها و محور سد، پهنه روانگرایی پی سد شوربچه که به رنگ آبی مشخص شده، بصورت شکل ۶ ترسیم می‌شود. لازم به ذکر است که در گمانه ای در نزدیکی محور سد، عدد آزمون نفوذ استاندارد بالاتر از ۵۰ گزارش شده، که طبق اکثریت معیارهای ارائه شده، از جمله معیارهای در نظر گرفته شده در این مطالعه، این نوع از خاک غیر روانگرا دسته بندی می‌شود.



شکل ۶- نواحی روانگرا شده در پی سد شوربچه بر اساس روش Idriss و Boulanger ۲۰۰۸

۵. نتیجه‌گیری

همان گونه که ذکر شد، خاک‌های آبرفتی پتانسیل روانگرایی بالایی دارند و ارزیابی و بررسی روانگرایی در این ساختارها الزامی است. در طی سالیان مهندسی و پژوهشگران علم ژئوتکنیک به دنبال شناخت، ارزیابی وقوع و نحوه توزیع فشار آب حفره‌ای در خاک‌ها پرداخته‌اند. در این مطالعه به ارزیابی وقوع روانگرایی در پی آبرفتی سد شوربچه پرداخته شد. با توجه به این مطالعه نتایج زیر را می‌توان ارائه داد:



۱. با توجه به بافت ماسه‌ای غالب در خاک محل احداث سد، وقوع روانگرایی در این نوع خاک محتمل است.
۲. روش‌های مختلفی جهت ارزیابی روانگرایی در طی سالیان پیشنهاد شده است. در این مطالعه با استفاده از یکی از این روش‌ها که Idriss و Boulanger ارائه نمودند، به بررسی و ارزیابی وقوع روانگرایی در پی آبرفتی سد شوربجه پرداخته شد. ملاحظه می‌شود در سطح طراحی MCL، در بخش‌هایی از پی آبرفتی سد شوربجه، پتانسیل روانگرایی وجود دارد.
۳. با مقایسه رابطه ارائه شده توسط Rouch (رابطه (۵)) و رابطه ارائه شده توسط Idriss و Boulanger (رابطه (۶)) ملاحظه می‌شود که مقادیر CRR متفاوت از یکدیگر می‌باشند که به دلیل جامع‌تر بودن روش Idriss و Boulanger، پاسخ‌های قابل اعتمادتری را ارائه می‌دهد. از طرف دیگر به دلیل اینکه رابطه (۵)، خاک لایه سوم گمانه S۱۶ را روانگرا پیش بینی می‌کند، و نیز بطور کلی رابطه (۵) مقادیر کوچکتری از CRR را در مقابل رابطه (۶) ارائه می‌کند، می‌توان نتیجه گرفت رابطه (۵) رابطه‌ای محافظه کارانه‌تر می‌باشد.
۳. اثرات پس از وقوع روانگرایی مخرب است و این نیاز است که در مطالعه‌ای جداگانه به بررسی اثرات پس از روانگرایی در سد خاکی مذکور پرداخته شده و نشست‌ها و پایداری‌های شيروانی‌ها ناشی از روانگرایی بررسی شود.

۶. قدردانی

از شرکت مهندسين مشاور طوس آب برای همکاری در این مطالعه قدردانی می‌شود.

۷. مراجع

۱. Sadrekarimi, A., and Stark, T.D. (۲۰۱۰), "Earthquake Induced Excess Pore Water Pressure In The Upper San Fernando Dam During The ۱۹۷۱ San Fernando Earthquake", The Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, California., May ۲۲-۲۴, pp.
۲. نقی‌لو ر.، مهین‌روستا ر.، (۱۳۸۸)، "مقایسه روش‌های اخیر ارائه شده جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی در پی آبرفتی". هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، ۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت.
۳. کرباسی م.، (۱۳۸۵)، "ارزیابی احتمال وقوع پدیده روانگرایی در محل احداث سد‌های خاکی". هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۴. سروش ع، آقایی آرایبی ع.، (۱۳۸۵)، "روانگرایی پی‌های آبرفتی سد‌ها بر اثر زلزله و روش‌های علاج‌بخشی آن". هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۵. برزگری ق، ارومیه‌ای ع.، (۱۳۸۵)، "ارزیابی پتانسیل روانگرایی پی آبرفتی ساختگاه سد مخزنی چپرآباد بر اساس نتایج آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)". نشریه علوم زمین جهاد دانشگاهی، سال هفدهم شماره ۶۸.
۶. کوزه‌گر ک.، (۱۳۹۰)، "ارزیابی و بررسی روانگرایی در بدنه و پی سد‌های خاکی با استفاده از نتایج آزمون SPT (مطالعه موردی سد ستارخان)". اولین کنگره ملی توسعه عمران، زیباکنار، ایران.
۷. Omarov, M. (۲۰۱۰), "Liquefaction Potential and Post-Liquefaction Settlement of Saturated Clean Sands; and Effect of Geofiber Reinforcement" M.O.S. Thesis, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska.
۸. Youd, T. L., ET. Al. (۲۰۰۱), "Liquefaction resistance of soils," Summary Report from the ۱۹۹۶ NCEER and ۱۹۹۸ NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils," J. Geotechnical and Geoenvironmental Engrg., ASCE, ۱۲۷(۱۰), ۸۱۷-۸۳۳.
۹. Idriss, I. M., and Boulanger, R. W. (۲۰۰۸), "Soil Liquefaction During Earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute (EERI), Oakland, California, USA.
۱۰. شرکت مهندسين مشاور طوس آب، (۱۳۸۶)، "گزارش فنی طراحی سد و تاسیسات هیدرولیکی - پی آبرفتی طرح سد مخزنی شوربجه بر روی رودخانه کشف-رود".