ارزیابی پتانسیل روانگرایی در نیروگاه اتمی بوشهر (BNPP-1)

محمد حسین ملازینل
سرپرست امور ساختمان و سازه، شرکت مهندسین مشاور افق هسته‌ای، تهران، ایران
M_mollazeinal@yahoo.com

عاطفه فرجی
کارشناس زمین‌شناسی، شرکت مهندسین مشاور افق هسته‌ای، تهران، ایران
Ati.faraji@gmail.com

کلید واژه‌ها: *روانگرایی، بوشهر، نیروگاه اتمی ، سید و ایدریس*

چکیده

یکی از بزرگترین پدیده‌های ویرانگر و عامل اصلی خسارات وارده به سازه‌ها و ابنیه‌های فنی در حین وقوع زلزله، بخصوص در مناطقی که بر روی خاکهای ماسه‌ای بنا شده‌اند، وقوع پدیده روانگرایی می‌باشد. محققان بسیاری با ارائه مدارک و نتایجی بصورت نمودارها و فرمول‌های تجربی، گامی در جهت به حداقل رساندن آسیب‌های ناشی از روانگرایی با در نظر گرفتن تمهیدات لازم در طراحی سازه‌ها برداشته‌اند. در این تحقیق با استفاده از نتایج حاصل شده براساس مطالعات آزمایشگاهی روی گمانه‌هائی موجود در ناحیه نیروگاه اتمی بوشهر، به تحلیل پتانسیل روانگرائی در محل مذکور توسط روش سید و ایدریس (Seed and Idriss, 1971) پرداخته شده و عددی بعنوان پتانسیل روانگرائی منطقه مورد مطالعه ارائه خواهد شد. در ادامه نیز با توجه به نتایج حاصله از ویژگی‌های روانگرائی منطقه، به ارائه نمودارهایی برای میزان ضریب اطمنیان (FL) در مقابل روانگرایی برای مقادیر مختلف شتاب زلزله و بزرگای زلزله پرداخته می‌شود.

مقدمه

روانگرایی پدیده‌ای است که در خاک‌های دانه‌ای و منفصل ماسه‌ای تا سیلتی، در شرایط اشباع ایجاد می‌گردد. با اعمال بارهای دینامیکی بر توده‌های اشباع مستعد روانگرایی، فشار آب منفذی بالا رفته و موجب کاهش مقاومت برشی خاک می‌گردد، تا آنجا که خاک رفتار سیال پیدا کرده و روانگونه می‌شود. این پدیده در نهایت تولید نشست کرده و می‌تواند به گسیختگی توده خاک منجر گردد. به طور کلی پتانسیل روانگرایی می‌تواند در دو مقیاس مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد:

- در مقیاس منطقه‌ای (Regional Scale) بر اساس واحدهای زمین‌شناسی سطحی
- در مقیاس محلی (Local Scale) بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های نفوذ استاندارد، نفوذ مخروط و سایر آزمایش‌ها برجا

باید متذکر شد که روانگرایی به صورت اتفاقی در هر مکانی رخ نمی‌دهد، بلکه محدود به محیط‌های مشخص زمین‌شناسی و آب زمین‌شناسی می‌گردد. به طور کلی خاک‌های متشکل از رسوبات جوان‌تر و سست‌تر با سطح پایین آب زیرزمینی برای وقوع روانگرایی مستعدترند. اگر بین رخدادهای روانگرایی گذشته و معیارهای زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی یک ارتباط منطقی برقرار شود، این امکان وجود دارد که به وسیله آن نواحی محتمل و دارای قابلیت روانگرایی را مشخص نمود.

از اینرو براساس مطالب بیان شده یکی از بزرگترین پدیده‌های ویرانگر و عامل اصلی خسارات وارده به سازه‌ها و ابنیه‌های فنی در حین وقوع زلزله، در مناطقی که بر روی خاکهای ماسه‌ای بنا شده‌اند، کاهش یا زوال مقاومت خاک بر اثر وقوع روانگرایی می‌باشد. چنین پدیده‌هایی در غالب زلزله‌ها مشاهده گردیده است. از سال ۱۹۶۴ بدنبال زلزله‌های ویران کننده‌ای که در آلاسکا و نیگاتای ژاپن رخ داد، تحقیقات بسیار گسترده‌ای در زمینه بررسی علل وقوع روانگرایی شروع شد و دانشمندان و محققان متعددی با انجام مطالعات مختلف صحرایی و آزمایشگاهی سعی در روشن کردن عوامل مؤثر بر این پدیده را داشتند. هر کدام با ارائه مدارک و نتایجی بصورت نمودارها و فرمول‌های تجربی، گامی در جهت به حداقل رساندن آسیب‌های ناشی از روانگرایی با در نظر گرفتن تمهیدات لازم در طراحی سازه ها، برداشتند و این تحقیقات ادامه داشته‌اند، بطوریکه

در سالهای اخیر با استفاده از تئوری‌های ارائه شده در این زمینه، تجهیزات و دستگاه‌های بسیار پیشرفته‌ای جهت بررسی و ارزیابی استعداد روانگرایی، طراحی و مورد استفاده قرار گرفته است. به دلیل قرار گرفتن کشور ما در کمربند زلزله، دامنه این تحقیقات و بررسی‌ها در کشور ما هم توسعه یافته و تحقیقات و بررسی‌های مختلفی روی این پدیده صورت گرفته است. بیشتر این تحقیقات، منطقه‌ای بوده و در مناطق و استان‌هایی که سابقه و یا احتمال وقوع چنین پدیده‌هایی را داشتند، صورت گرفته است. لذا با جمع‌بندی این نتایج می‌توان، مناطق مختلف کشور را از لحاظ استعداد روانگرایی شناسایی کرد. با توجه به هدف این مقاله که ارائه پتانسیل روانگرایی در منطقه‌ی نیروگاه اتمی بوشهر می‌باشد، به استفاده از نتایج آزمایشات صورت گرفته در این منطقه به منظور برآورد میزان خسارات وارده به این منطقه بر اثر روانگرایی و تبیین چگونگی بروز یا عدم بروز آثار روانگرایی پرداخته شده است.

لذا با انجام مطالعات آزمایشگاهی روی نمونه‌های به دست آمده از گمانه‌های در نظر گرفته شده در منطقه مذکور، به تحلیل پتانسیل روانگرایی آن منطقه براساس پارامترهای طراحی منطقه با استفاده از روش سید پرداخته خواهد شد. سپس در قسمت نهایی مقاله، به بررسی پارامتریک پتانسیل روانگرایی منطقه تحت تاثیر شتاب مبنای طراحی و همچنین بزرگای زلزله پرداخته خواهد شد.

اطلاعات ژئوتکنیکی سایت

منطقه طرح در بخش ساحلی خلیج فارس و در زون زمین‌شناسی زاگرس واقع شده است. سازندهای اصلی زمین‌شناسی که در محدوده طرح، برونزد دارند شامل سازند آغاجاری با سن پلیوسن و سازند بختیاری با سن پلیو -پلیستوسن می‌باشند. سازند آغاجاری از ماسه سنگ‌های قهوه‌ای تا قرمز، مارن‌های هوازده و سیلتستون تشکیل شده است. بخش بالایی سازند آغاجاری را عضو لهبری تشکیل می‌دهد که به وسیله رنگ نخودی و طبیعت کم تحکیم یافته‌اش قابل تشخیص است. در محدوده منطقه مورد مطالعه، سازند آغاجاری شامل سیلتستون و کلیستون‌های قهوه‌ای روشن با میان لایه‌های از ماسه سنگ است. بر اساس بررسی‌های شیمیایی و مینرالوژیکی، این سازند یک سازند مارنی است. بر اساس شباهت‌های موجود بین این سازند در محدوده منطقه مورد مطالعه و مقطع تیپ عضو لهبری، می‌توان نتیجه گرفت که این سازند در محدوده سایت متشکل از عضو لهبری است. در محدوده طرح، یک واحد سنگ آهک دریایی به صورت ناپیوسته بر روی سازند آغاجاری قرار می گیرد که به نظر می‌رسد، این واحد معادل عضو آهکی سازند بختیاری باشد. این واحد همان سنگ است که ضخامتش بین ۳ تا ۶ متر متغیر است. این واحد از لیتولوژی متغیری شامل ماسه سنگ Cap-rock پوش یا رسوبات ریف‌های مرجانی تشکیل یافته است. در محدوده سایت مورد نظر این واحد متشکل از (Coquina) آهکی، کوکینا ماسه سنگ‌های آهکی است. در بخش خشکی، سنگ پوش به وسیله لایه نازکی از ماسه‌های بادی و در بخش دریایی سازند آغاجاری به وسیله یک توالی از رسوبات سست دریایی پوشیده می‌شود.

جهت انجام مطالعات روانگرایی در سایت مذکور، از نتایج آزمایشات SPT در گمانه‌های مختلف استفاده شده است. جدول ۱ خلاصه‌ای از اطلاعات مرتبط با گمانه‌های مورد بررسی را در مطالعات ژئوتکنیک صورت گرفته در نیروگاه اتمی بوشهر نشان می‌دهد.

جدول ۱: اطلاعات مرتبط با گمانه‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی

شماره گمانه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
عمق حداکثر مورد مطالعه	۲۶.۵	۱۹.۲۵	۲۲	۲۲.۱	۲۱.۸۵	۲۱.۸۵	۱۸.۹۵	۲۳	۲۲.۵	۲۳	۱۷.۹۵	۲۲
SPT	۷۲	۴۶	۵۳	۹۹	۷۸	۵۵	۳۲	۸۷	۶۸	۹۲	۲۹	۸۴
	۱۹۶	۱۱۲	۲۰۳	۲۳۱		۱۳۲	۵۶		۱۶۱	۱۶۲	۶۵	۱۵۴

نتایج تکمیلی، حاصل از مطالعات ژئوتکنیک صورت گرفته روی این منطقه می‌باشد که در محاسبات مرتبط با پتانسل روانگرایی مورد استفاده قرار گرفته است.

روش ساده شده سید و ادریس

روش ساده شده سید و ادریس بوسیله ارتباط دادن عدد نفوذ استاندارد با مقاومت برشی سیکلی خاکها، پتانسیل روانگرایی آنها را مورد ارزیابی قرار میدهد. (Seed and Idriss, 1971) این روش به خاطر وجود داده‌های فراوان آزمون نفوذ استاندارد و سهولت انجام این آزمون، معمولاً برای ارزیابی خطر روانگرایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های دیگری نیز وجود دارند که براساس عدد نفوذ استاندارد خاک‌ها بنا شده‌اند، اما از آنجا که روش ساده شده سید و ادریس کاربرد فراوانی داشته است، توسط محققین زیادی مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفته است و بازبینی‌های زیادی برروی آن صورت گرفته و بهبود بخشیده شده است.

در این روش بررسی و تخمین دو پارامتر اصلی مورد نیاز می‌باشد. این دو پارامتر عبارتند از:

- نسبت تنش تناوبی میانگین معادل لرزه‌ای لایه‌های خاک به صورت پارامتر CSR

- نسبت مقاومت تناوبی خام برای مقابله با روانگرایی به صورت پارامتر CRR

سید و ایدریس در سال ۱۹۷۱ اولین بار رابطه زیر را برای محاسبه نسبت تنش تناوبی میانگین معادل لرزه‌ای (CSR) ارائه کردند.

$$CSR = (\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}}) = 0.65\frac{a_{\max}}{g}.\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}.r_d \qquad (۱)$$

در این رابطه a_{max} شتاب افقی حداکثر زلزله در سطح زمین (در منطقه مورد مطالعه 0.4g)، g شتاب ثقلی، σ_{v0} و σ'_{v0} تنش‌های سربار عمودی کل و موثر و r_d ضریب کاهش تنش (برای ارزیابی انعطاف‌پذیری پروفیل خاک) می‌باشند. لذا برای محاسبه ضریب کاهش تنش (که وابسته به عمق لایه‌بندی z می‌باشد) از رابطه ذیل استفاده می‌گردد (T. F. Blake).

$$r_d = \frac{1.000 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5}}{1.000 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z + 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^{2}} \qquad (۲)$$

همچنین برای ارزیابی پارامتر CRR روش‌های مختلفی وجود دارد. یک روش محتمل، استفاده از تست‌های درجا و همچنین نمونه‌های آزمایشگاهی می‌باشد. آزمایش‌های صحرایی مختلفی از جمله آزمایش نفوذ استاندارد SPT، آزمایش نفوذ مخروط CPT، اندازه‌گیری سرعت جریان موج برشی و آزمایش نفوذ بکر BPT جهت ارزیابی مقاومت روانگرایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بین این آزمایشات روش‌های SPT و CPT بدلیل پایگاه داده‌های وسیع و همچنین تجربیات حاصل شده گذشته، روش‌های مناسب‌تری می‌باشند. در این مقاله از روش آزمایش SPT برای محاسبه مقاومت روانگرایی منطقه استفاده می‌گردد. برای محاسبه ضریب CSR از روابط زیر استفاده می‌گردد.

$$(N_1)_{60} = C_N.N_{60} \qquad (۳)$$

$$C_N = 1 - 125\log(\frac{\sigma'_v}{10}) \qquad (۴)$$

$$(N_1)_{60,FC} = \sim + \quad (N_1)_{60} \qquad (۵)$$

$$\sim = \begin{cases} 0 & FC \le 5 \\ \exp(1.76 - \frac{190}{FC^2}) & 5 < FC < 35 \\ 5 & FC \ge 35 \end{cases} \qquad (۶)$$

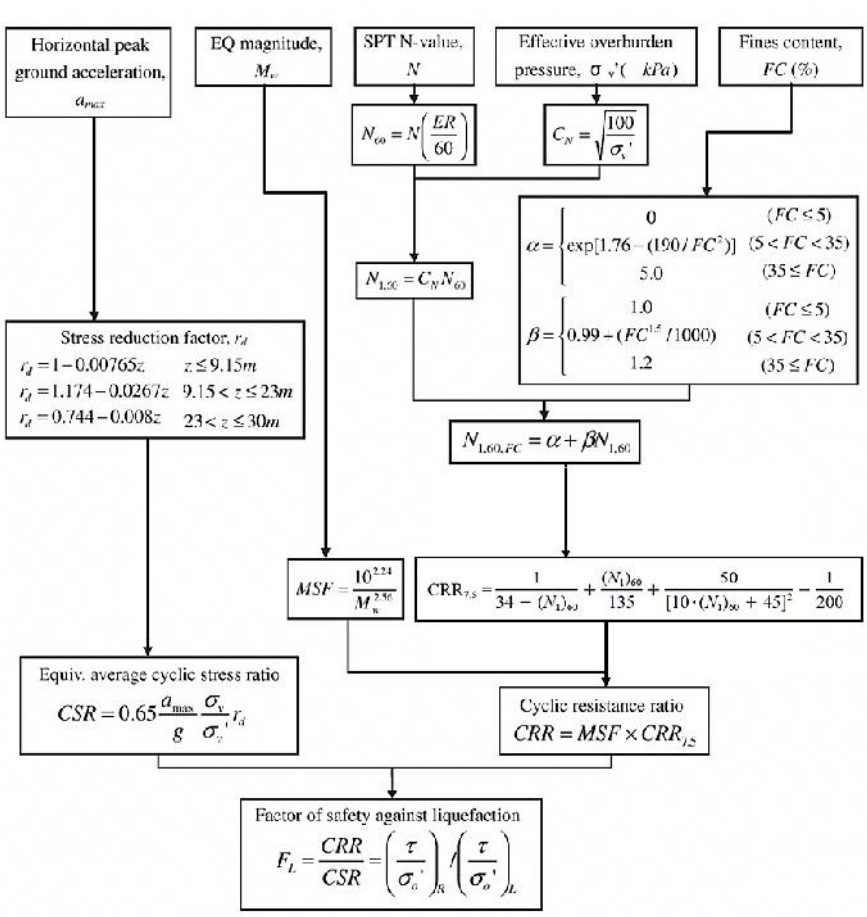
$$= \begin{cases} 1 & FC \le 5 \\ 0.99 + \frac{FC^{1.5}}{1000} & 5 < FC < 35 \\ 1.2 & FC \ge 35 \end{cases} \qquad (۷)$$

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60,FC}} + \frac{(N_1)_{60,FC}}{135} + \frac{50}{[10.(N_1)_{60,FC} + 45]^2} - \frac{1}{200} \qquad (۸)$$

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \qquad (۹)$$

$$CRR = MSF \times CRR_{7.5} \qquad (۱۰)$$

در این روابط M_w بزرگای زلزله، N_{60} عدد SPT استاندارد، FC محتوای ریزدانه (٪)، CN فاکتور مرتبط با فشار سربار موثر می‌باشند. شکل ۱ نیز الگوریتم نحوه محاسبه ضرائب CSR و CRR را نمایش داده و به معرفی پارامترهای مختلف بکار رفته در محاسبه ضرائب مذکور پرداخته شده است.



شکل ۱: الگوریتم محاسبه ضریب اطمینان موجود در مقابل پدیده روانگرایی (FL)

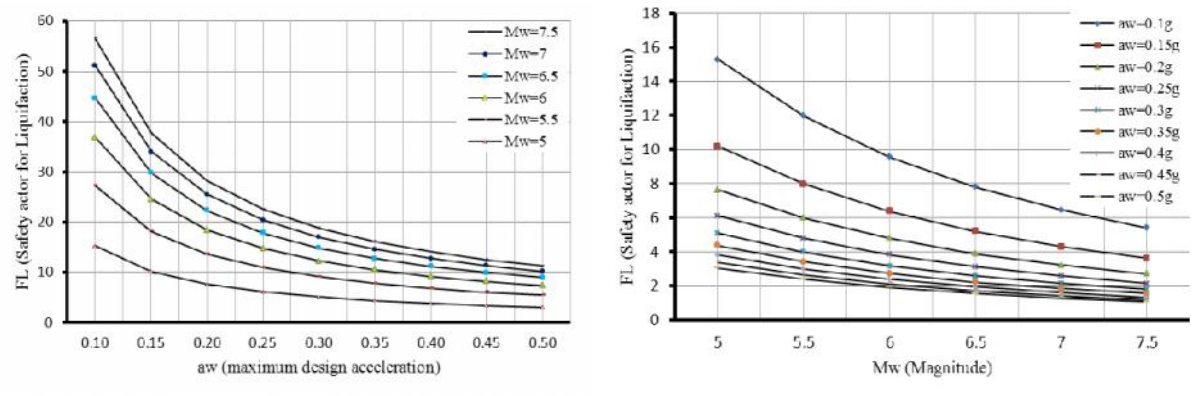
نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه شتاب مبنای طراحی منطقه مورد مطالعه برابر 0.4g و بزرگای زلزله براساس گسل‌های موجود در اطراف منطقه برابر ۵.۷ در نظر گرفته شده است، محاسبات سعی و خطایی مربوط به پتانسیل روانگرایی در منطقه نشان می‌دهد که میزان ضریب اطمینان حاصل شده برای این منطقه در حدود ۲.۷ می‌باشد که مطابق جدول ۲ (رده‌بندی از دیدگاه پتانسل روانگرایی) منطقه مذکور در منطقه با پتانسیل روانگرایی کم قرار گرفته است.

جدول ۲: رده‌بندی پتانسیل روانگرایی

منطقه	میزان ضریب اطمینان FL	پتانسل روانگرایی
۱	FL < 1.0	خیلی زیاد
۲	1 < FL < 1.5	زیاد
۳	1.5 < FL < 2.0	متوسط
۴	2.0 < FL < 3.0	کم
۵	FL > 3.0	خیلی کم

در این مقاله علاوه بر ارزیابی سایت مورد نظر از دیدگاه روانگرایی براساس پارامترهای طراحی مشخص شده منطقه مورد مطالعه، به بررسی پارامتریک شتاب زلزله و همچنین بزرگای زلزله پرداخته شده و میزان پتانسل روانگرایی براساس مقادیر مختلف شتاب و بزرگای زلزله مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل ۲- سمت چپ، نمودار میزان ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی (FL) بر حسب میزان شتاب زلزله در بزرگاهای گوناگون زلزله را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۲- سمت راست نیز، نمودار میزان ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی (FL) بر حسب میزان بزرگای زلزله در شتاب‌های گوناگون زلزله را نشان می‌دهد.



شکل ۲: الگوریتم محاسبه ضریب اطمینان موجود در مقابل پدیده روانگرایی (FL) در مقابل شتاب زلزله در بزرگاهای مختلف (سمت چپ) و در مقابل بزرگای زلزله در شتاب‌های زلزله مختلف (سمت راست)

نتایج حاصل شده نشان می‌دهد که منطقه مورد نظر براساس پارامترهای طراحی گوناگون، بیشتر در ناحیه با پتانسیل روانگرایی متوسط و کم قرار گرفته است. همچنین بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که پتانسل روانگرایی خیلی زیاد (FL<1) در این منطقه تحت شرایط زلزله‌های با بزرگای کمتر از ۷.۵ و شتاب کمتر از 0.5g وجود نداشته و از دیدگاه روانگرایی در این منطقه برای تاسیس سازه‌های مختلف مشکلی وجود نداشته و منطقه انتخاب شده از دیدگاه پتانسیل روانگرایی مناسب ارزیابی می‌گردد.

مراجع

Dames and Moor (1974) Final Report Geotechnical Studies Iran 1, 2 Nuclear Power Plant of Bushehr, International S.R.L., Consultants in the Environmental and Applied Earth Sciences

Seed HB and Idriss IM (1971) Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential: Proceeding of the American Society of Civil Engineers, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 93(SM9): 1249-1273*

Seed HB and Idriss IM (1982) Ground motions and soil liquefaction during earthquakes: Earthquake Engineering Research Institute, *Engineering Monograph, Vol. 5, 134 p*

Seed HB, Idriss IM and Arango I (1983) Evaluation of liquefaction potential using field performance data: American Society of Civil Engineers, *Journal of Geotechnical Engineering, 109(3): 458-482*