

ارزیابی احتمال وقوع پدیده روانگرایی در شهر آستانه گیلان در اثر زلزله و براساس آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)

مجتبی ملکشاهی^{*}، محمد غفوری^۱، ناصر حافظی مقدس^۲، سینا حاجتی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

Email: emanmalek91@gmail.com

چکیده

شهرستان آستانه اشرفیه در ۳۵ کیلومتری مرکز استان گیلان و در فاصله ۷ کیلومتری از شهر لاهیجان واقع شده است. با توجه به لرزه خیزی استان گیلان و با ملاحظه این که شهرستان آستانه اشرفیه به لحاظ ساختگاهی و بالا بودن سطح آب زیرزمینی (تراز آب بین ۳-۱/۵ متر)، و نیز پیشینه تاریخی در مسئله روانگرایی در زلزله ۱۳۶۹ منجیل در نتیجه مستعد روانگرایی می‌باشد، با توجه به نزدیکی شهر آستانه به ساحل دریای خزر و رشد سریع جمعیت انسانی و مناطق مسکونی، روزه روز بر آسیب پذیری این منطقه که از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، اضافه خواهد شد. با توجه به مطالب بیان شده، ارزیابی خطر روانگرایی منطقه، یکی از مسائل مهم و ضروری مدیریت بحران زلزله در شهر آستانه می‌باشد. در این راستا روشهای متعددی برای ارزیابی احتمال وقوع پدیده روانگرایی بوجود آمده است، که از جمله می‌توان به آزمایشات صحرائی (SPT Standard penetration test)، (Cone penetration test) CPT، اندازه گیری سرعت موج برشی و (Becker penetration) BPT اشاره کرد. در این مطالعه داده های آزمایش SPT نقاط مختلف شهر آستانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و با استفاده از روشهای ارائه شده احتمال وقوع پدیده روانگرایی در سطح شهر آستانه به ازای بزرگای زلزله های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: شهر آستانه، روانگرایی، SPT، بزرگای زلزله

۱. مقدمه

ترزاقی در سال ۱۹۲۵ برای نخستین بار اصطلاح روانگرایی را برای فروپاشی خاک های اشباع بکار برد، اما تا سال ۱۹۵۳ روانگرایی ناشی از بارگذاری لرزه ای به عنوان یک موضوع مهم مهندسی مورد توجه قرار نگرفت. پس از زمین لرزه سال ۱۹۴۸ توکیو، مورگامی و کوبه [4] برای نخستین بار روانگرایی خاک تحت تأثیر بارگذاری لرزه ای را مطرح نمودند. در زمین لرزه سال ۱۹۶۴ نیگاتای ژاپن، روانگرایی گسیختگی پی ساختمان‌ها، فروریختن پل‌ها، شناوری سازه‌های مدفون در خاک و بسیاری از تجهیزات ساخته شده دیگر را به همراه داشت. وقوع این پدیده، باعث افزایش توجه محققان به رفتار زهکشی نشده ماسه‌های اشباع در شرایط بارگذاری لرزه‌ای شد. بنابراین روانگرایی خاک های دانه ای، اشباع و سست در طی زمین لرزه، یکی از خطرات اصلی در بسیاری از نقاط جهان محسوب می‌گردد. پدیده روانگرایی اغلب در ماسه های ساحلی وقتی که فشار آب منفذی باعث از بین رفتن تنش مؤثر بین ذرات می‌شود اتفاق می‌افتد که در این حالت آب و رسوبات مخلوط

شده و در حقیقت روانگرا می‌شوند [8] و همچنین بعضی‌ها پدیده روانگرایی را کاهش سریع مقاومت برشی تعریف می‌کند که ممکن است فرآیندی سیکلی باشد (مانند حالت زلزله) یا یکنواخت (مانند گسیختگی شیب) ، [3]. روانگرا شدن خاک در حین وقوع زمین لرزه باعث از بین رفتن استحکام خاک خواهد شد، این عمل منجر به نشست سازه‌ها، وقوع زمین لغزش‌ها، تسریع گسیختگی‌های مربوط به سدهای خاکی یا بروز انواع دیگری از خطرهای می‌شود [5]. روانگرایی معمولاً با افزایش آب منفذی، جوشش ماسه و حالت‌های مختلف تغییر شکل همراه است، اما این تغییر شکل‌ها، تنها زمانی که به اندازه کافی بزرگ بوده و به سازه‌ها آسیب برسانند، برای مهندسان معنی‌دار هستند [9]. به طور کلی تنها نهشته‌های اشباع یا نهشته‌هایی که قابلیت اشباع شدن با آب زیرزمینی را داشته باشند، به عنوان خاک‌های مستعد روانگرایی در نظر گرفته می‌شوند [9]. بنابراین معمولاً در مناطق ساحلی به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی، پتانسیل روانگرایی مشاهده می‌شود. ارزیابی تغییر شکل‌های زمین ناشی از روانگرایی از طریق روش‌های عددی و روش‌های تحلیلی، مدل‌سازی‌های آزمایشگاهی و آزمایشی و روش‌هایی براساس آزمایش‌های صحرایی انجام می‌شود [10]. در سال‌های اخیر، روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی متعددی جهت ارزیابی مقاومت روانگرایی خاک‌ها ارائه شده است. از جمله روش‌های ارزیابی صحرایی می‌توان به استفاده از آزمایش نفوذ استاندارد SPT (Standard penetration test)، آزمایش نفوذ مخروط (Cone penetration test) CPT، اندازه گیری سرعت موج برشی اشاره نمود. آزمایش نفوذ استاندارد SPT به عنوان روشی پایه برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی و نشست ناشی از آن در نظر گرفته می‌شود [7].

در این پژوهش از روش مقاومت نفوذ استاندارد جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک‌های شهر آستانه استفاده شده است. در این راستا روش اصلاح شده سید و همکاران [6]. برای ارزیابی روانگرایی خاک با استفاده از SPT شده است.

۲. موقعیت زمین‌شناسی

استان گیلان در بخش باختری البرز شمالی قرار دارد. در این استان دو مورفولوژی متفاوت حاکم است در بخش جنوبی استان ارتفاعات بلند و خشن البرز شمالی چهره ساز است در حالیکه کوهپایه‌ها و دشت ساحلی خزر مورفولوژی تپه ماهوری و دشت گونه دارد که با پادگان‌های دریایی و یا نهشته‌های آبرفتی جوان زمان حال پوشیده شده‌اند. شواهد زمین‌شناسی موجود نشان می‌دهد که گسله‌های حد کوه و دشت و زمین ساخت نقش اساسی در مورفولوژی منطقه دارد. به عبارت دیگر حد فاصل مورفولوژی کوهساز و واحد فیزیوگرافیک دشت گونه ممکن است منطبق بر زمین درزه تتیس کهن باشد که باقیمانده‌های آن بویژه جنوب غرب انزلی و ماسوله برونزد دارند. به لحاظ عملکرد زمین درزه یاد شده، استان گیلان می‌تواند متشکل از دو پهنه زمین‌ساختی - رسوبی جداگانه زیر باشد.

الف: کوه‌های تالش: کوه‌های تالش بخشی از حاشیه شمالی ورق ایران است که از نگاه زمین‌شناسی و کوه‌نگاری به «البرز» موسوم است. در این قسمت سنگ‌های کهن پرکامبرین رخنمون ندارند. سنگ‌های پالئوزوئیک - تریاس میانی بطور عموم ردیف‌های کربناته - آواری با خاصه‌های پلاتفرمی هستند که ویژگی‌های مشابه با سایر نواحی ایران دارند. ب: پهنه دشت ساحلی: دشت ساحلی رشت - انزلی - آستارا فاقد رخنمون‌های آشکار و پوشیده با نهشته‌های آبرفتی جوان است. معه‌ها، یافته‌های منطقه ای بویژه وجود رخنمونی از سنگ‌های دگرگونه به همراه عدسیه‌های اولترا بازیکی نشان می‌دهند که دشت ساحلی به واقع بخشی از حوضه پاراتیس است که بوسیله زمین درزه پوشیده تتیس کهن از دامنه‌های شمالی البرز جدا است. مهمترین گسل‌های استان گیلان شامل: گسل البرز، گسل آستارا، گسل سفیدرود، گسل‌های میانی البرز غربی و تالش جنوبی می‌باشند.

۳. پتانسیل روانگرایی با استفاده از روش مقاومت نفوذ استاندارد (SPT)

در ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک‌های ماسه‌ای با استفاده از نتایج آزمایش SPT، ابتدا مقدار نسبت مقاومت برشی تناوبی توده خاک (CRR) براساس نتایج آزمایش SPT پس از اعمال ضرایب اصلاحی (جدول ۱) و با استفاده از رابطه (۳-۱۹۹۸) بدست می‌آید. در این نمودار مقدار پارامتر $(N_1)_{60}$ تابعی از تنش مؤثر، نوع چکش دستگاه، طول میله و قطر گمانه و نمونه گیر است و از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$(N_1)_{60} = N \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_S \cdot C_R \cdot C_B \quad (1)$$

در این رابطه N تعداد ضربات SPT، C_N ضریب اصلاحی برای فشار سربار، C_E ضریب اصلاحی انرژی چکش، C_S ضریب اصلاحی نمونه گیر، C_B ضریب اصلاح قطر نمونه گیر، C_R ضریب اصلاحی طول میله می‌باشد. مقدار ضریب اصلاح فشار سربار از رابطه ۲ بدست می‌آید.

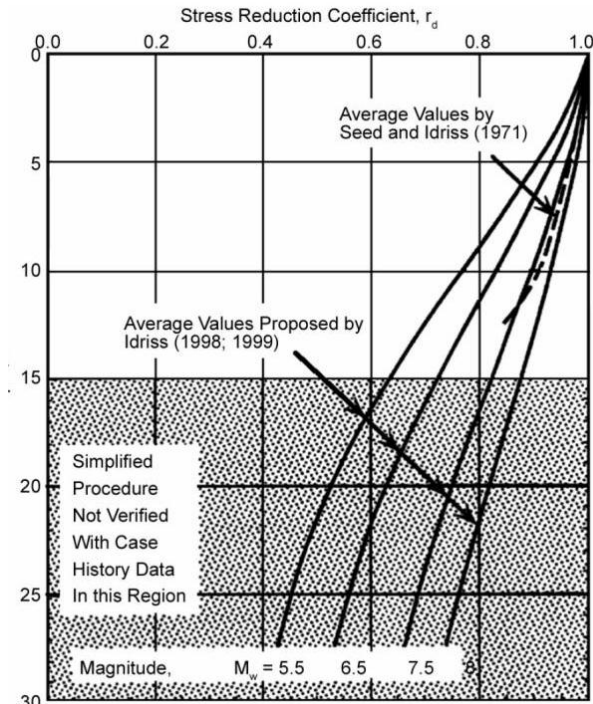
$$Pa=100 \text{ kPa} \quad C_N = \left(\frac{pa}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.5} \quad (2)$$

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \times (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (3)$$

مقادیر ضرایب دیگر براساس جدول ۱ بدست می‌آید.

جدول ۱- ضرایب اصلاحی عدد SPT (Andrus, 1994)

| ضریب تصحیح | عبارت | مشخصات تجهیزات | عامل |
|---|-------|--|----------------|
| $\frac{pa}{\sigma'_{v0}}$ $C_N \leq 2$ | C_N | | فشار سربار |
| ۰/۵-۱ ۱۷-۱/۲ ۰/۸-۱/۳ | C_E | چکش دونات چکش safety چکش دونات از نوع اتوماتیک | نسبت انرژی |
| ۱ ۱/۰۵ ۱/۱۵ | C_B | ۶۵ تا ۱۱۵ میلی‌متر ۱۵۰ میلی‌متر ۲۰۰ میلی‌متر | قطر گمانه |
| ۰/۷۵ ۰/۸۵ ۰/۹۵ ۱ <۱ | C_R | ۳ الی ۴ متر ۴ الی ۶ متر ۶ الی ۱۰ متر ۱۰ الی ۳۰ متر بیش از ۳۰ متر | طول میله |
| ۱ ۱/۱-۱/۳ | C_S | نمونه‌گیری استاندارد نمونه‌گیر بدون پوشش | روش نمونه‌گیری |



شکل ۲- روش ارزیابی مقدار ضریب کاهش تنش (Seed et al, 2003)

مرحله دوم ارزیابی پتانسیل روانگرایی، تعیین نسبت تنش برشی تناوبی توده خاک (CSR)، ایجاد شده توسط زلزله در عمق مورد مطالعه، با استفاده از روش سید وادریس (Seed & Idriss, 1971) محاسبه می‌گردد:

(۴)

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma_v} = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \right) \times r_d$$

تنش برشی متوسط ایجاد شده بر اثر وقوع زلزله در عمق مورد مطالعه = τ_{av}

تنش کل در عمق مورد مطالعه = σ_v

تنش مؤثر در عمق مورد مطالعه = σ_v'

شتاب ثقلی زمین = g

ضریب کاهش تنش = r_d

مقدار ضریب کاهش تنش از نمودار (شکل ۲) بدست می‌آید.

ضریب اطمینان کمتر از یک نشان دهنده احتمال وقوع روانگرایی در عمق مورد بررسی می‌باشد.

۴. عامل بزرگی

تمام روابط و نمودارهای ارائه شده در بخش قبل، مربوط به زلزله مبنای ۷/۵ ریشتر می‌باشند. برای مطابقت دادن این روش‌ها با زلزله های بزرگتر و یا کوچکتر، روش‌های متعددی ارائه شده است. ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Fs = (CRR_{7.5} / CSR) MSF$$

در رابطه فوق MSF فاکتور بزرگی زلزله می‌باشد.

برای بدست آوردن MSF نیز روابط متعددی ارائه شده است که در این قسمت به بیان دو رابطه مهم اکتفا می‌شود.

۱- رابطه اصلاح شده سید و ادريس (۱۹۸۲)

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad (5)$$

۲- رابطه آندروس و استوکوته (۱۹۹۷)

$$MSF = \left(\frac{M_w}{7.5}\right)^{-2.56} \quad (6)$$

در روابط بالا M_w بزرگی زلزله به ریشتر می باشد.

۵. تراز آب زیرزمینی در منطقه

در دشت آستانه - کوچصفهان نقشه هم اختلاف سطح آب زیرزمینی مربوط به شهریور ۱۳۶۶ تا شهریور ۱۳۸۵ می باشد. رقم منحنی های هم اختلاف آب زیرزمینی بین ۳- تا ۲+ متر در این دشت متغیر می باشد. در ۱۲ گمانه اکتشافی مورد مطالعه تراز آب زیرزمینی منطقه بین ۳- تا ۱/۵- متر تعیین گردید [1].

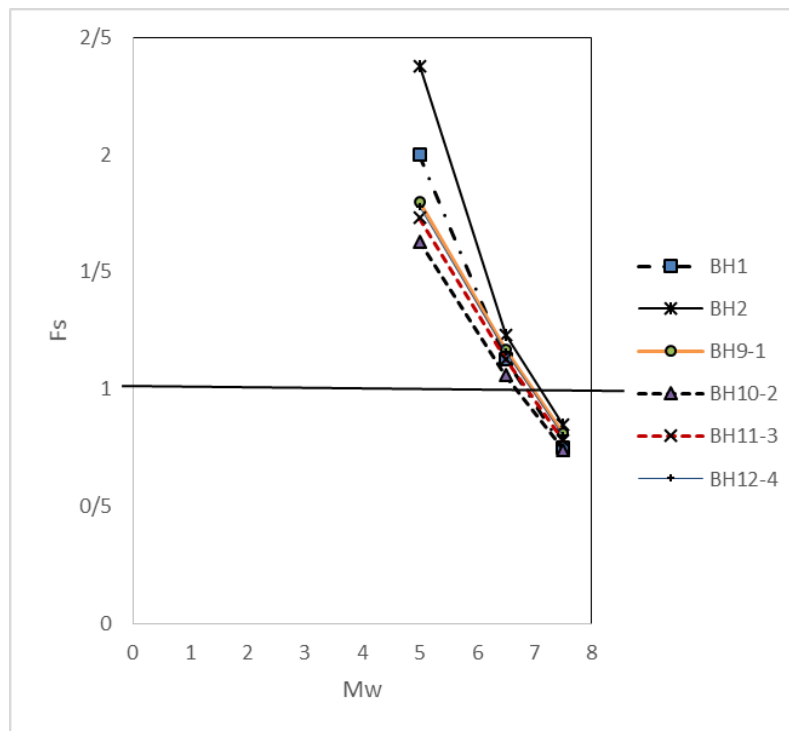
۶. بحث و بررسی داده ها

از بررسی لوگ های حفاری اکتشافی از نقاط مختلف شهر آستانه تا عمق ۳۰ متر، دانه بندی غالب منطقه تا عمق ۲۰ متری در محل گمانه ها SP, SP-SM, SM, CL, ML و گاهاً در اعماق بیش از ۲۰ متر MH, CH بوده است. دانه بندی فوق نشان دهنده محدوده خاک های روانگرا می باشد. بدین منظور پتانسیل روانگرایی خاک های منطقه با استفاده از روش Seed & Idriss, 1997 مورد بررسی قرار می گیرد. جدول (۲) نتایج آزمایش SPT ضریب اطمینان محاسبه شده برای هر یک از گمانه ها را نشان می دهد.

جدول ۲- محاسبه ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی برای زلزله ای با شدت ۷/۵ ریشتر شتاب ماکزیمم ۰/۳ شتاب ثقل زمین

| شماره گمانه | عمق (متر) | N(SPT) | CRR _{7.5} | CSR | FS _{7.5} |
|-------------|-----------|--------|--------------------|------|-------------------|
| 1 | 4-11 | 14 | 0.19 | 0.25 | 0.76 |
| 2 | 7-14 | 20 | 0.23 | 0.24 | 0.85 |
| 9-1 | 5.5-10 | 24 | 0.24 | 0.29 | 0.82 |
| 10-2 | 5.5-10 | 22 | 0.22 | 0.3 | 0.74 |
| 11-3 | 6-10 | 24 | 0.24 | 0.31 | 0.78 |
| 12-4 | 6-11 | 26 | 0.23 | 0.29 | 0.8 |

باید توجه داشت که ضریب اطمینان بدست آمده در جدول (۲) فقط برای زلزله ۷/۵ ریشتری معتبر است و برای محاسبه ضریب اطمینان زلزله هایی با شدت کمتر یا بیشتر باید از روابط ۴ تا ۶ استفاده کرد. شکل (۳) مقادیر ضریب اطمینان را برای زلزله های با شدت های کمتر از ۷/۵ ریشتر در ۶ گمانه با خطر روانگرایی بالاتر نشان می دهد.



شکل ۳- ضرایب اطمینان روانگرایی برای زلزله هایی با بزرگی کمتر از ۷/۵ ریشتر

همانطور که شکل (۳) نشان می‌دهد، در همه گمانه های بررسی شده در زلزله های با بزرگی بیش از ۷ احتمال روانگرایی در محل گمانه ها وجود دارد. برای زلزله با بزرگی ۶-۷ خطر رخداد پدیده روانگرایی وجود دارد و برای زلزله با بزرگی کمتر از ۶ احتمال پدیده روانگرایی وجود ندارد و ضریب اطمینان برای گمانه ها بالاتر از ۱/۵ می‌باشد.

نتیجه گیری

- ۱- با توجه به اینکه ایران جزء مناطق زلزله خیز جهان بوده و همچنین سابقه تاریخی شهرستان آستانه اشرفیه در زلزله مخرب سال ۱۳۶۹، باید در شناخت پدیده روانگرایی و اثرات منفی آن بر روی سازه های مهندسی کوشش بیشتری انجام گردد.
- ۲- بررسی گمانه ها نشان می‌دهد گمانه دوم به دلیل داشتن لایه های ماسه‌ای و ماسه سیلتی در اعماق بیشتر، احتمال پدیده روانگرایی در این گمانه بیشتر می‌باشد.
- ۳- با توجه به عمق کم روانگرایی در اکثر گمانه ها می‌توان با بهره گیری از روشهای بهسازی، خاک موجود در محل گمانه ها را تقویت نموده تا ریسک پدیده روانگرایی را کاهش داد.
- ۴- بنابر محاسبه ضریب اطمینان روانگرایی برای زلزله با بزرگی کمتر از ۷/۵ مشخص شده که در بزرگی بین ۶-۷ ریشتر ضریب اطمینان در مرز خطر پدیده روانگرایی می‌باشد و در بزرگی ۷/۵ ریشتر پدیده روانگرایی رخ خواهد داد در نتیجه عامل بزرگی زلزله تأثیر زیادی بر رخداد روانگرایی دارد.

منابع

۱. اداره آب و فاضلاب منطقه‌ای استان گیلان، (۱۳۸۵)، محدوده مطالعاتی آستانه - کوچصفهان.

2. Andrus, R. D., (1994), "In Situ Characterization of Gravelly soil that Liquefied in the 1983 Borah Peak Earthquake", Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin, 533pp.
3. Bonita, j., (2000), "The Effects of Vibration on the Penetration Resistance and Pore Water Pressure in Sands, Ph.D. Thesis," Department of Civil Engineering, Virginia Tech, Blacksburg, VA.
4. Mogami, T. & Kubo, K., (1953), "The behavior of soil during vibration", Proc. 3th Int. Conf., Soil Mech., Vol. 1: 152-153.
5. Seed, H. B., Ctein, K.O., Moss, R. E. S., Kammerer, A., Wu, J., Pestana, J., Riemer, M., Sancio, R. B., Bray, J. D., Kayen, R. E. & Faris, A., (2003), "Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework", Technical Report No. EERC 2003-6 Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley. 72 pp.
6. Seed, H. B. & Idriss, I., (1971), " Simplified procedure for evaluation soil liquefaction potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97(SM9): 1249-1273.
7. Tokimastu, K. & Seed, H.B., (1987), "Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 113(8): 861-879.
8. Ozgur Kirca, V. S., Multu Sumer, B., Jørgen Fredsøe, (2013), " Residual liquefaction of Seabed under Standing Waves" American Society of Civil Engineers.
9. Yuan X. M., Sun R, Chen L. and Tang F., (2010), "A method for detecting site liquefaction by seismic records", soil Dynamics and Earthquake Engineering: 270-279.
10. Zahang, G., Robertson, P.K. & Brachman, R. W. L., (2002), "Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground". Canadian Geotechnical Journal, Vol. 39: 1168-1180.