



## ارزیابی پتانسیل روانگرایی ساختگاه سد باراندوز ارومیه براساس آزمون

### مقاومت نفوذ مخروط (CPT)

تهمینه شیخ بگلو<sup>۱</sup>، محمدحسن پور صدقی<sup>۲\*</sup>، ناصر عبدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، گروه زمین شناسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

<sup>۲\*</sup> استادیار، گروه تکتونیک، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (m.hsedghi@yahoo.com)

<sup>۳</sup> استادیار، گروه زمین شناسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۷/۰۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۱۲/۱۹)

#### چکیده

یکی از پدیده‌های ژئوتکنیک لرزه ای، وقوع روانگرایی در لایه‌هایی خاکی است. این پدیده در رسوبات ماسه‌ای اشباع سیلت دار غیر مترکم صورت می‌گیرد که در آن خاک اشباع در اثر تنش شدیدی که به آن وارد می‌شود مقاومت و سختی خود را به طور کامل از دست می‌دهد و مانند یک مایع رفتار می‌کند. این تنش وارده می‌تواند در اثر تکان‌های ناشی از زمین لرزه یا دگرگونی‌های ناگهانی در شرایط تنش خاک باشد. در این حالت مقاومت برشی خاک برابر صفر می‌شود و توانایی باربری خود را از دست می‌دهد. مقاومت روانگرایی خاکها را میتوان به روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی تعیین نمود. هدف اصلی در این تحقیق، مقایسه میزان پتانسیل روانگرایی براساس روش آزمون مقاومت نفوذ مخروط (CPT) و آزمون مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) در محدوده سد باراندوز ارومیه می‌باشد. در ادامه شاخص پتانسیل روانگرایی لایه‌های خاکی برای هر دو روش جهت تعیین میزان خطر روانگرایی ارزیابی شده است. در تحقیق حاضر، ۱۳ حلقه گمانه و ۱۱۸ لایه خاکی، باتوجه به نوع و جنس خاک و سطح آب زیر زمینی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که محدوده مورد مطالعه دارای روانگرایی بالایی بوده و بیشترین خاکهای روانگرا شده مربوط به خاکهای شنی و ماسه‌ای سیلت دار میباشد و همچنین روش آزمون مقاومت نفوذ مخروط (CPT)، دارای شاخص پتانسیل روانگرایی بیشتری نسبت به روش آزمون مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) برخوردار است.

#### کلمات کلیدی

روانگرایی، سد باراندوز، ارومیه، مقاومت نفوذ مخروط (CPT)، مقاومت نفوذ استاندارد (SPT).



# Evaluation of Liquefaction Potential in Barandouz Dam based on Cone Penetration Test (CPT)

Tahmineh Sheikhabglou<sup>1</sup>, Mohammad Hasanpour Sedghi<sup>2\*</sup>, Naser Abdi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. of Engineering Geology, Department of Geology, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

<sup>2\*</sup> Assistant Professor, Department of Tectonic, Faculty of Science, Tabriz University, Tabriz, Iran  
(m.hsedghi@yahoo.com)

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Geology, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

(Date of received: 23/09/2018, Date of accepted: 10/03/2019)

## ABSTRACT

One of the important problems in earthquake geotechnical engineering is liquefaction phenomenon that happens in loose saturated granular soils. Liquefaction resistance of soils can be evaluated with using laboratory tests such as cyclic simple shear test, cyclic triaxial tests and cyclic torsional test or field tests for example standard penetration test (SPT), cone penetration test (CPT) and shear wave velocity ( $V_s$ ). Main aim in this study, comparison results of soils liquefaction potential evaluation in the Barandouz Dam in Urumieh between SPT and CPT tests. In continue, liquefaction potential index (LPI) for both method assessed. In this study, 13 boreholes from Barandouz Dam collected and evaluated. Results of research showed that there is no good agreement between two methods. Also, value of LPI based on CPT is more than SPT.

## Keywords

Liquefaction, Barandouz Dam, Urumieh, Cone Penetration Test (CPT), Standard Penetration Test (SPT).

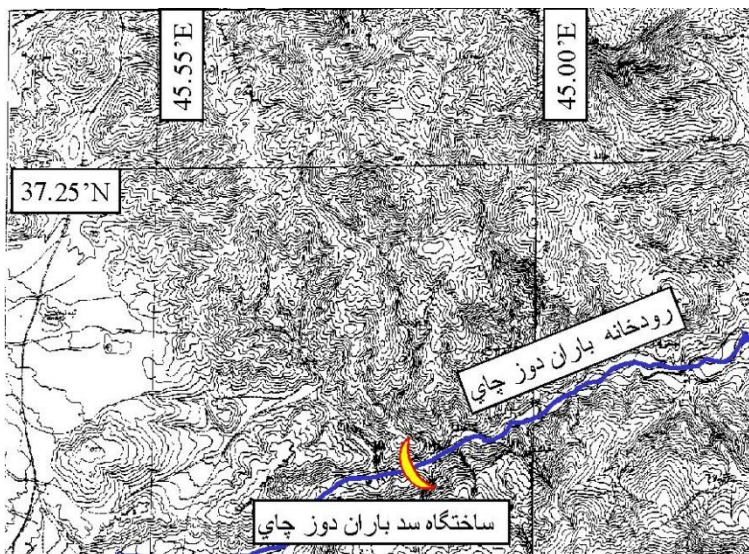


## ۱- مقدمه

یکی از اتفاق‌های مهم ژئوتکنیک لرزه‌ای که باعث وقوع خسارات شدید در هنگام زلزله می‌شود پدیده‌ی روانگرایی است. به علت افزایش میزان فشار آب حفره‌ای در لایه‌های خاکی دانه‌ای شل و رس (در حالت خاص) در اثر ارتعاشات ناشی از وقوع زلزله و تمایل به کاهش حجم منجر به کاسته شدن تنش همه‌جانبه در خاک می‌گردد که در این حالت مقاومت برشی خاک به شدت کاهش یافته و به مقدار صفر نزدیک می‌شود. به این شرایط روانگرایی می‌گویند. این پدیده به صورت نشست‌های گسترده، جوشش ماسه، فوران گل و آب و تراوش آب از خلل و فرج موجود در سطح زمین نشان می‌دهد. عوامل مختلفی می‌تواند بر وقوع روانگرایی در لایه‌های خاکی مؤثر باشد که می‌توان به بزرگای زلزله و مدت‌زمان آن، تخلخل، تراکم نسبی، درصد ریزدانه و شاخص خمیری و دامنه‌ی تنش برشی اعمالی به توده‌ی خاک اشاره کرد. در سال‌های اخیر روش‌های مختلف صحرایی و آزمایشگاهی جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی ارائه شده است که می‌توان به استفاده از آزمون‌های مقاومت نفوذ استاندارد (SPT)، آزمایش مقاومت نفوذ مخروط (CPT) و اندازه‌گیری سرعت موج برشی (Vs) اشاره نمود. در این تحقیق مقایسه‌ی نتایج حاصل از دو روش یعنی، ارزیابی پتانسیل روانگرایی به‌وسیله‌ی (SPT) بر اساس طرح ارائه شده توسط ادریس و بولانجر [۱] برای خاک‌های ماسه‌ای و لای دار و ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از روش مقاومت نفوذ مخروط بر اساس طرح ارائه شده توسط رابرتسون و راید در سال ۱۹۹۸ [۲]، انجام گرفته است. سپس با استفاده از روش ایواساکی و همکاران [۳-۴] شدت خطر وقوع روانگرایی برای هر دو روش مذکور محاسبه گردید.

## ۲- شرایط عمومی و لایه بندی خاک

در تحقیق حاضر، به‌منظور مقایسه‌ی دو روش ارزیابی پتانسیل روانگرایی در خاک‌ها اطلاعات ۱۳ حلقه‌ی گمانه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. این گمانه‌ها به روش ماشینی حفر شده‌اند. موقعیت سد و گمانه‌های حفر شده در شکل (۱) نشان داده شده است. عمق سطح ایستابی یکی از عوامل اساسی در ارزیابی‌های پتانسیل روانگرایی محسوب می‌شود. برای ارزیابی سطح آب زیرزمینی در گمانه‌ها از گزارش سطح آب زیرزمینی در موقع حفر گمانه و اطلاعات پیژومتری در ارزیابی اولیه سطح ایستابی گمانه‌ها مد نظر قرار گرفته است. علاوه بر سطح ایستابی، نوع و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها از عوامل مؤثر در میزان قابلیت روانگرایی آنها می‌باشد. خاک‌های رسی به‌دلیل چسبندگی ذاتی از قابلیت روانگرایی بسیار کمی برخوردار هستند که در ارزیابی کنار گذاشته شده‌اند. بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی اطلاعات موجود در گمانه‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه مشاهده گردید که مشخصات ژئوتکنیکی لایه‌های خاکی زیر سطحی از دو بخش تشکیل شده است؛ به‌طوری‌که در اولین لایه که از سطح زمین شروع می‌شود بیشتر از جنس شن همراه با ماسه و سیلت و رس به رنگ خاکستری و قهوه‌ای بوده و در لایه‌ی دوم که بلافاصله بعد از لایه‌ی اول قرار گرفته جنس مصالح بیشتر ماسه همراه با رس و لای و شن به رنگ قهوه‌ای و خاکستری می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت ساختگاه سد باراندوزچای روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰.

### ۳- تحلیل گمانه ها جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی

برای تحلیل گمانه‌ها و برآورد پتانسیل روانگرایی بایستی برآوردی از شتاب حداکثر سطح زمین صورت گیرد. به دلیل وقوع زلزله‌های اخیر در محدوده مورد مطالعه حداکثر میزان شتاب برابر  $0.35g$  برای بزرگای زلزله‌ی  $7/5$  فرض شده است. همچنین تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه با توجه به اطلاعات حاصل از گمانه‌های حفر شده در عمق ۱ متری مشاهده شده است.

#### ۳-۱- ارزیابی پتانسیل روانگرایی براساس آزمون مقاومت نفوذ استاندارد (SPT)

در ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه با استفاده از نتایج آزمون مقاومت نفوذ استاندارد از روش ساده شده که توسط ادریس و بولانجر در سال ۲۰۰۶ [۱] ارائه شده استفاده شده است. به طوری که ابتدا مقدار نسبت تنش تناوبی  $(CSR=Cyclic\ Stress\ Ratio)$  که بیان‌کننده‌ی میزان شدت بارگذاری لرزه‌ای در بزرگای  $7/5$  می‌باشد با استفاده از رابطه‌ی زیر برآورد می‌گردد:

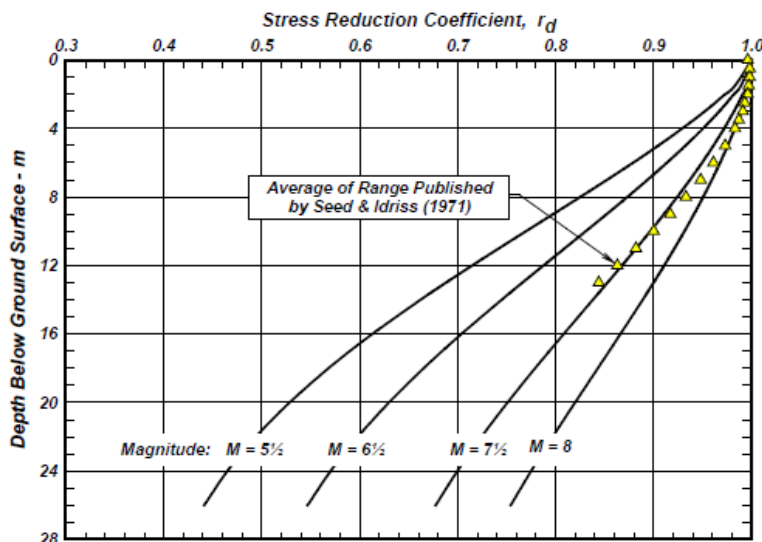
$$CSR_{7.5} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF} \quad (1)$$

در رابطه‌ی فوق،  $a_{max}$  حداکثر شتاب سطحی،  $g$  شتاب ثقل زمین،  $\sigma_v$  تنش کل در عمق مورد مطالعه،  $\sigma'_v$  تنش مؤثر در عمق مورد مطالعه،  $r_d$  ضریب کاهش تنش با استفاده از شکل (۲) برآورد شده و  $MSF$  (Magnitude Scale Factor) فاکتور مقیاس بزرگای زلزله می‌باشد که بر اساس تحقیقات آندروس و استوکی در سال ۱۹۹۷ [۵] با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:



$$MSF = \left( \frac{M_w}{7.5} \right)^{-3.3} \quad (2)$$

که در رابطه‌ی فوق،  $M_w$  بزرگای زلزله است.



شکل ۲: نحوه تعیین ضریب کاهش تنش [۶].

به‌منظور تعیین مقدار پارامتر نسبت مقاومت تناوبی خاک ( $CRR = \text{Cyclic Resistance Ratio}$ ) که بیان‌کننده‌ی مقاومت خاک در برابر وقوع روانگرایی است طبق روش ساده شده و اصلاح شده سید و همکاران در سال ۱۹۸۵ [۷] و ادريس و بولانجر در سال ۲۰۰۶ [۱]، از نتایج آزمون مقاومت نفوذ استاندارد استفاده می‌شود. بدین‌منظور ابتدا نتایج حاصل از آزمون مقاومت نفوذ استاندارد بر اساس رابطه‌ی زیر با کاربرد پارامترهای ارائه شده توسط اسکمپتون در سال ۱۹۸۶ [۸] در جدول (۱) اصلاح می‌گردد:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \quad (3)$$

که در این رابطه،  $N_{SPT}$  عدد آزمون مقاومت نفوذ استاندارد،  $C_N$  ضریب اصلاح برای فشار سربار،  $C_E$  ضریب اصلاح انرژی چکش،  $C_S$  ضریب اصلاح قاشق نمونه‌گیر،  $C_B$  ضریب اصلاح قطر گمانه،  $C_R$  ضریب اصلاح طول میله‌ی نمونه‌گیر و  $(N_1)_{60}$  عدد اصلاح شده‌ی آزمون مقاومت نفوذ استاندارد می‌باشد.



جدول ۱: ضریب اصلاحی عدد آزمون مقاومت نفوذ استاندارد [۸]

ضریب تصحیح	عبارت	مشخصات تجهیزات	ضرایب
۰/۵-۱ ۱/۲-۱/۷ ۰/۸-۱/۳	$C_E$	چکش دونات چکش Safety چکش دونات از نوع خودکار	نسبت انرژی
۱ ۱/۰۵ ۱/۱۵	$C_B$	۶۵ تا ۱۱۵ ۱۵۰-۱۱۵ ۲۰۰-۱۵۰	قطر گمانه
۰/۷۵ ۰/۸۵ ۰/۹۵ ۲۱ <۱	$C_R$	۳-۴ متر ۴-۶ متر ۶-۱۰ متر ۱۰-۳۰ متر بیش از ۳۰ متر	طول میله
۱ ۱/۱-۱/۳	$C_S$	نمونه‌گیری استاندارد نمونه‌گیری بدون پوشش	روش نمونه‌گیری

سپس، بر اساس پیشنهاد ارائه شده توسط ادريس و بولانجر (۲۰۰۶) [۱]، ضریب اصلاح تنش سربار ( $C_N$ ) با کاربرد رابطه‌ی زیر تعیین گردد:

$$C_N = \left( \frac{P_a}{\sigma_v} \right)^m \leq 1.7, P_a = 100kPa \quad (۴)$$

$$m = 0.784 - 0.0768 \sqrt{(N_1)_{60}}$$

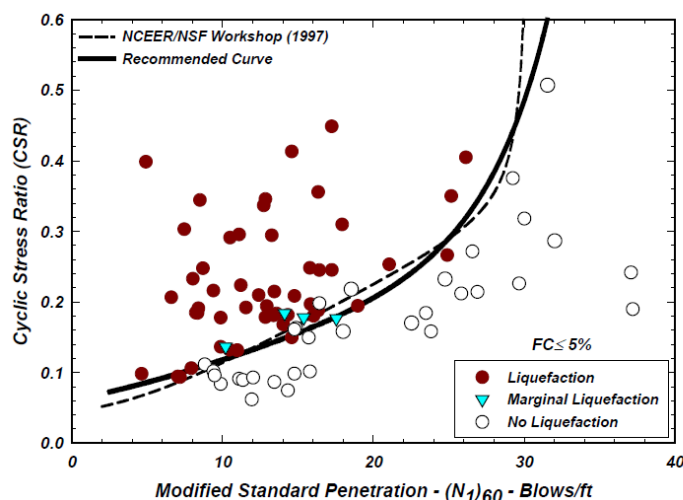
که در رابطه‌ی فوق، فشار اتمسفر بوده و  $\sigma_v'$  تنش مؤثر در عمق مورد مطالعه و  $(N_1)_{60}$  عدد اصلاح شده‌ی آزمون مقاومت نفوذ استاندارد می‌باشد. پس از اصلاح عدد آزمون مقاومت نفوذ استاندارد، مقدار معادل آن برای ماسه‌ی تمیز  $(N_1)_{60CS}$  تعیین گردیده و با استفاده از آن مقدار نسبت مقاومت تناوبی با کاربرد رابطه‌های زیر برآورد می‌گردد:

$$(N_1)_{60CS} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \quad (۵)$$

$$\Delta(N_1)_{60} = 1.63 + \exp\left(1 + \frac{9.7}{FC + 0.1}\right) - \left(\frac{15.7}{FC + 0.1}\right)^2$$

$$CRR = \exp\left(\left(\frac{(N_1)_{60CS}}{14.1}\right) + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25.4}\right)^4 - 2.8\right)$$

در رابطه‌ی فوق،  $FC$  درصد خاک ریزدانه در عمق مورد مطالعه در لایه‌ی خاکی می‌باشد.



شکل ۳: نمودار تعیین نسبت مقاومت تناوبی بر اساس نتایج آزمون مقاومت نفوذ استاندارد اصلاح شده [۱۰].

### ۳-۲- ارزیابی پتانسیل روانگرایی براساس آزمون مقاومت نفوذ استاندارد (CPT)

آزمایش نفوذ مخروط یکی از آزمایشهای معمول صحرایی میباشد که کاربردهای فراوانی در زمینه مهندسی ژئوتکنیک از قبیل تعیین خصوصیات مهندسی خاک، بررسی شرایط ژئوتکنیکی زمین بین گمانه های کنترلی و تعیین لایه بندی را دارد. این آزمایش خصوصا به دو دلیل عدم ایجاد دست خوردگی در خاک و پیوستگی قرائت ها از اهمیت ویژه ای در مطالعات ژئوتکنیک برخوردار است. در تحقیق حاضر از روش ارائه شده توسط روبرتسون و راید (۱۹۹۸) [۲] برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی بهره گرفته شده است. در مرحله اول میزان نسبت مقاومت تناوبی توده خاک (CRR) براساس نتایج آزمون مقاومت نفوذ مخروط ( $q_c$ ) که با استفاده از روابط (۶)، (۷)، (۸) و (۹) اصلاح شده و با کاربرد شکل (۴) تعیین می گردد.

$$q_{C1N} = \left( \frac{100}{\sigma'_V} \right)^{0.5} \cdot \left( \frac{q_c}{Pa} \right) \quad (۶)$$

$$(q_{C1N})_{CS} = K_c \cdot q_{C1N} \quad (۷)$$

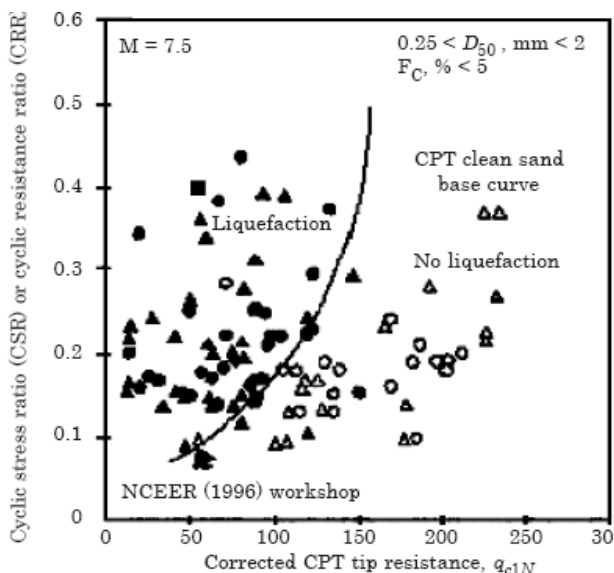
$$K_c = 1.0 \quad \text{for } I_c \leq 1.64 \quad (۸)$$

$$K_c = -0.403I_c^4 + 5.581I_c^3 - 21.63I_c^2 + 33.57 - 17.88 \quad (۹)$$

for  $I_c > 1.64$

در روابط فوق،  $q_c$  مقاومت نفوذ مخروط،  $q_{C1N}$  مقاومت نفوذ مخروط تصحیح شده براساس میزان تنش موثر قائم در لایه خاکی مورد مطالعه،  $(q_{C1N})_{CS}$  مقاومت نفوذ مخروط معادل ماسه تمیز و  $I_c$  شاخص نوع رفتار خاک میباشد که براساس روش تکرار محاسبه می گردد.





شکل ۴: نمودار تخمین مقاومت برشی تناوبی توده خاک در روش [۲] CPT.

در انتها، میزان مقاومت نفوذ مخروط اصلاح شده ماسه تمیز با استفاده از رابطه ارائه شده توسط روبرتسون و کامپانلا (۱۹۸۵) [۷] برآورد گردید:

$$(N_1)_{60CS} = 0.488 \cdot (q_{C1N})_{CS}^{0.779} \quad (10)$$

### ۳-۳- اصلاح نسبت مقاومت تناوبی توده‌ی خاک

شایان ذکر است که در ارزیابی پتانسیل روانگرایی صورت گرفته بر اساس دو روش مورد استفاده در این مقاله، مقدار برشی تناوبی توده‌ی خاک (CRR) در عمق مورد مطالعه، به شرط آنکه مقدار تنش مؤثر قائم از ۱۰۰ کیلو پاسکال تجاوز کند با استفاده از رابطه‌ی زیر اصلاح شده است [۹]:

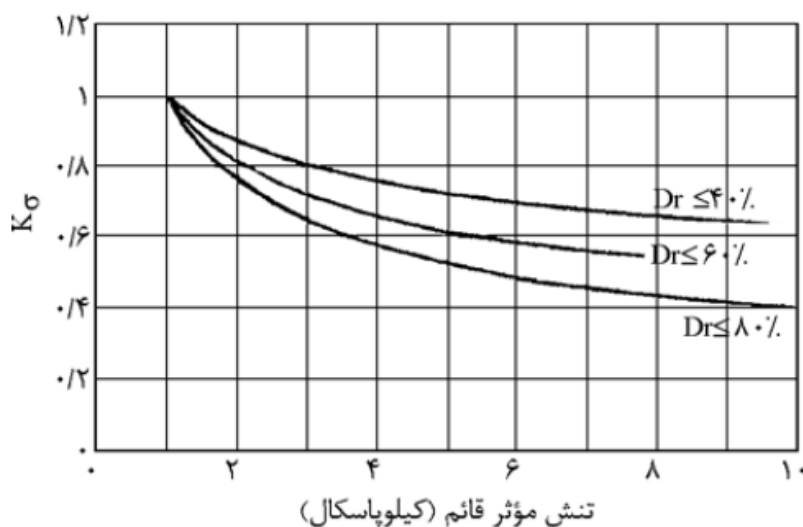
$$CRR_f = CRR \cdot K_\sigma \quad (11)$$

در رابطه‌ی فوق،  $CRR_f$  نسبت مقاومت برشی تناوبی توده خاک اصلاح شده،  $CRR$  نسبت مقاومت برشی تناوبی توده خاک در عمق مورد مطالعه و  $K_\sigma$  ضریبی است که تابع سستی و متراکم بودن خاک است که با استفاده از رابطه‌ی زیر مقدار آن به دست می‌آید:

$$K_\sigma = \left( \frac{\sigma'_v}{100} \right)^{f-1} \quad (12)$$

در رابطه‌ی فوق، مقدار  $f$  بسته به میزان تراکم خاک به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود، به طوری که برای خاک‌های شل  $f=0/8$ ، برای خاک‌های با تراکم متوسط  $f=0/7$  و برای خاک‌های با تراکم زیاد  $f=0/6$  است. همچنین، از نمودار ارائه شده در شکل (۵) نیز می‌توان برای تعیین  $K_\sigma$  استفاده نمود.





شکل ۵: نمودار تعیین  $K_{\sigma}$  بر حسب تنش مؤثر قائم [۹].

### ۳-۴- ضریب اطمینان

مقدار ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی برای هر دو روش مورد بررسی با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$F_s = \frac{CRR_j}{CSR} \quad (13)$$

ضریب اطمینان کمتر از یک نشان‌دهنده‌ی احتمال وقوع روانگرایی در عمق مورد مطالعه می‌باشد.

### ۳-۵- شاخص پتانسیل روانگرایی (LPI)

جهت برآورد شدت روانگرایی احتمالی در محدوده‌ی مورد مطالعه در هر دو روش مورد بررسی از رابطه (۱۴) ارائه شده توسط ایواساکی و همکاران [۳-۴] استفاده شده است:

$$LPI = \int_0^{20} F(Z).W(Z).dz \quad (14)$$

$$(15)$$

$$F(Z) = 1 - F_s \text{ for } F_s \leq 1; \text{ and } F(Z) = 0 \text{ for } F_s > 1$$

$$W(Z) = 10 - 0.5Z \quad (16)$$

در رابطه‌ی فوق،  $LPI$  شاخص پتانسیل روانگرایی،  $F_s$  ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی در عمق مورد مطالعه،  $Z$  عمق مورد مطالعه می‌باشد. مقدار  $LPI$  بین صفر تا ۱۰۰ متغیر بوده و جدول (۲) پتانسیل روانگرایی را بر اساس شاخص پتانسیل روانگرایی به چهار قسمت طبقه‌بندی می‌کند.



جدول ۲: تعیین میزان خطر روانگرایی [۳-۴]

خطرپذیری روانگرایی خیلی پایین است. تحقیقات، مطالعات و اندازه‌گیری‌های جزئی نیاز نیست.	$LPI=0$
خطرپذیری روانگرایی پایین است. تحقیقات بیشتری مورد نیاز است. اندازه‌گیری‌های روانگرایی مورد نیاز است.	$0 < LPI < 5$
خطرپذیری روانگرایی بالاست. تحقیقات بیشتری مورد نیاز است. اندازه‌گیری‌های روانگرایی مورد نیاز است.	$5 < LPI < 15$
خطرپذیری روانگرایی خیلی بالاست. تحقیقات و اندازه‌گیری‌های زیادی مورد نیاز است.	$LPI > 15$

#### ۴- ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل داده ها

نتایج بدست آمده از ارزیابی داده ها به شرح موارد زیر قابل اشاره می باشند:

۱- در محدوده مورد مطالعه، مجموعاً ۱۳ حلقه گمانه حفاری شده بود که به تعداد ۱۱۸ لایه خاکی زیر سطحی مورد ارزیابی قرار گرفته است که از نظر جنس، ۵۸ لایه شن، ۳۳ لایه ماسه، ۲۳ لایه رس و ۴ لایه سیلنتی (لای دار) بوده است.

۲- بر اساس روش آزمون CPT، از ۱۱۸ مورد لایه خاکی که در عمق‌های مختلف (تا عمق ۲۰ متری و در مواردی تا ۲۲ متری) گمانه‌های محور ساختگاه سد باراندوز چای، محاسبه شده‌اند، ۶۹ مورد ضریب اطمینان کمتر از یک و روانگرا شده است. به بیان دیگر، براساس نتایج بدست آمده از محاسبه ضرایب اطمینان، براساس گمانه های حفاری شده در بستر رودخانه، در محدوده پی آبرفتی سد باراندوز چای، درصد لایه های خاکی روانگرا شده براساس جدول (۳) بیان می شود:

جدول ۳: مقادیر خاکهای روانگرا شده در گمانه های حفاری شده محدوده سد باراندوز چای در روش آزمون CPT

جنس مصالح	شن	ماسه	رس	لای
تعداد لایه خاکی	۲۸	۲۳	۱۶	۲
درصد خاک روانگرا	۲۳/۷	۱۹/۵	۱۳/۵	۱/۶۹

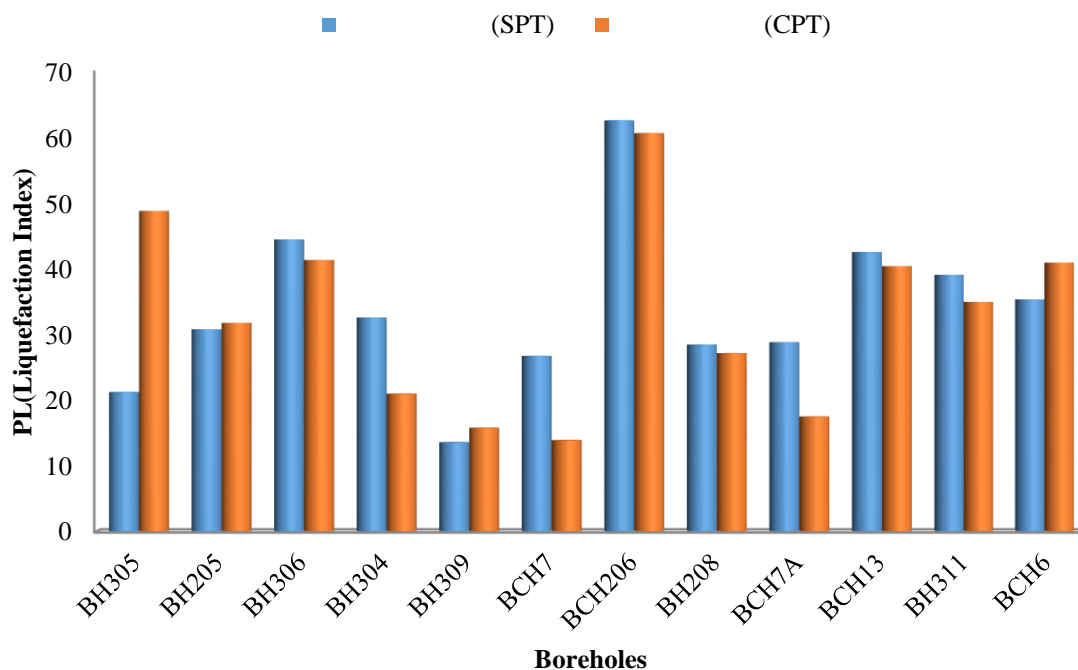
۳- براساس نتایج حاصل از آزمون مقاومت نفوذ استاندارد (SPT)، از ۱۱۸ مورد لایه خاکی که در عمق‌های مختلف (تا عمق ۲۰ متری و در مواردی تا ۲۲ متری) گمانه‌های محور ساختگاه سد باراندوز چای، محاسبه شده‌اند، ۸۹ مورد ضریب اطمینان کمتر از یک و روانگرا شده است. به بیان دیگر، براساس نتایج بدست آمده از محاسبه ضرایب اطمینان، براساس گمانه های حفاری شده در بستر رودخانه، در محدوده پی آبرفتی سد باراندوز چای، درصد لایه های خاکی روانگرا شده به صورت جدول زیر بیان می شود:

جدول ۴: مقادیر خاکهای روانگرا شده در گمانه های حفاری شده محدوده سد باراندوز چای در روش آزمون SPT

جنس مصالح	شن	ماسه	رس	لای
تعداد لایه خاکی	۲۸	۲۱	۱۸	۲
درصد خاک روانگرا	۴۰	۳۰	۲۶	۴



۴- براساس شکل (۶) مشاهده می گردد که میزان شاخص پتانسیل روانگرایی خاکها در گمانه ها براساس روش CPT دارای میزان کمتری نسبت به روش SPT می باشد.



شکل ۶: مقایسه مقادیر شاخص پتانسیل روانگرایی برای گمانه های مختلف براساس دو روش SPT و CPT.

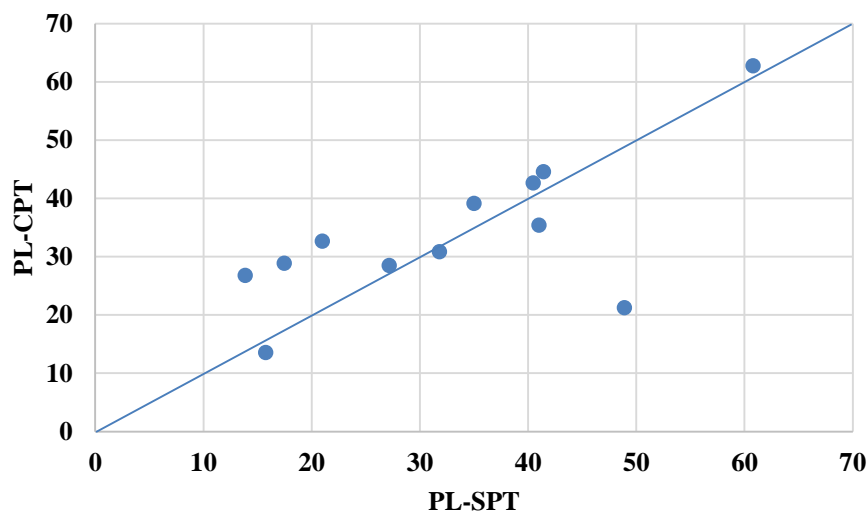
۵- براساس نتایج بدست آمده از محاسبه ضرایب اطمینان، در گمانه های حفاری شده در بستر رودخانه، در محدوده سد باراندوزچای، از مجموع ۱۱۸ مورد لایه خاکی محاسبه شده در عمق های مختلف گمانه ها، ۱۷ مورد در هر دو روش نتیجه یکسانی در مورد روانگرایی، یا عدم وقوع روانگرایی، ارایه نموده اند، نتیجه کلی بصورت جدول زیر مشاهده می شود.

جدول ۵: نتایج یکسان هر دو روش SPT و CPT در گمانه های حفاری شده در مورد روانگرایی و عدم روانگرایی

جنس مصالح	شن	ماسه	رس	لای
تعداد لایه خاکی روانگرا SPT, CPT	۴	۴	۱	۲
تعداد لایه های خاکی غیر روانگرا	۵	۰	۱	۰



۶- با مقایسه نتایج حاصل از دو روش مورد استفاده جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاکها مشاهده می گردد که دو روش با یکدیگر تطابق کامل نداشته و خطر روانگرایی لایه های خاکی براساس نتایج CPT کمتر در مقایسه با SPT می باشد.



شکل ۷: مقایسه مقادیر شاخص پتانسیل روانگرایی خاکها براساس دو روش مورد استفاده.

#### ۵- جمع بندی و نتیجه گیری

همچنان که در بخش‌های گذشته اشاره شد هدف اصلی در تحقیق حاضر، مقایسه‌ی نتایج حاصل از دو روش یعنی، ارزیابی پتانسیل روانگرایی به‌وسیله‌ی SPT بر اساس طرح ارائه شده توسط ادريس و بولانجر [۱] و ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از روش‌آزمون مقاومت نفوذ مخروط (CPT) بر پایه‌ی طرح ارائه شده توسط رابرتسون و راید در سال ۱۹۹۸ [۲] با استفاده از روابط تجربی بین آنها انجام گرفته و سپس با استفاده از روش ایواساکی و همکاران [۳-۴] شدت خطر وقوع روانگرایی برای هر دو روش مذکور محاسبه شد. محدوده‌ی مورد مطالعه، سد باراندوز بوده و در مجموع تعداد ۱۳ حلقه لوگ گمانه با توجه به عمق آب زیرزمینی و نوع خاک که می‌توانند مستعد روانگرایی باشند مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان کرد:

۱- آزمون مقاومت نفوذ مخروط (CPT) در مقایسه با آزمون مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) این مزیت را دارد که لایه‌های بسیار نازک شل خاک را می‌تواند شناسایی نماید. بنابراین اندکی خطر روانگرایی را در مقایسه روش SPT کمتر نشان داده است.

۲- میزان عدد مقاومت نفوذ مخروط لایه‌ها در تحقیق حاضر براساس رابطه تجربی بین عدد  $N_{SPT}$  و  $q_c$  تعیین گردیده است که می‌تواند با داده‌های موجود در محدوده مورد مطالعه متناسب نباشد.

۳- همچنان که آشکار است، جهت اصلاح عدد  $SPT$  از یک سری ضرایب استفاده می‌شود. با توجه به نوع دستگاه حفاری و راندمان انرژی مصرفی و دقت انجام آزمایش می‌تواند عدم قطعیت‌هایی به وجود آید که بر نتایج به‌دست‌آمده تأثیر بگذارد. یکی از موارد تأثیرگذار ضریب اصلاح انرژی دستگاه می‌باشد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که ضریب مربوط به نسبت انرژی حداقل برای یک یا دو گمانه از گمانه‌هایی که در یک ساختگاه در ایران حفر می‌شود، با حس‌گرهای مربوطه اندازه‌گیری شود تا میزان دقیق آن برآورد شود.



۶- مراجع

- 1- Idriss I. M. and Boulanger R. W., 2006, **Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes**, Soil Dynamic and Earthquake Engineering, 26, 115–130.
- 2-Robertson P. K. and Wride C. E., 1998, **Evaluation Cyclic Liquefaction Potential Using the Cone Penetration Test**, Canadian Geotechnical Journal, 35(3), 442.
- 3- Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuko, F., and Yasuda, S., 1978, **A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan**, Proceedings of 2nd International Conference on Micro zonation, San Francisco, 885–896.
- 4- Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., and Sato, H., 1982, **Micro zonation for soil liquefaction potential using simplified methods**, Proceedings of 2nd International Conference on Micro zonation, Seattle, 1319–1330.
- 5- Andrus R. D. and Stokoe K. H., 1997, **Liquefaction Resistance Based on Shear Wave Velocity**, NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Technical Report NCEER-97-0022, T.L. Youd and I.M. Idriss, Eds, Held 4-5 January 1996, Salt lake City, UT, NCEER, Buffalo, NY, 88-128.
- 6- Idriss I. M., 1999, **An update to the Seed-Idriss simplified procedure for evaluating liquefaction potential**, In: Proceedings, TRB workshop on new approaches to liquefaction, publication no. FHWARD-Federal Highway Administration, 99-165.
- 7- Seed H. B., Tokimatsu K., Harder L. F. and Chung R. M., 1985, **The Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations**, Journal of Geotechnical Engineering, 111(12), 1425-1445.
- 8- Skempton A. K., 1986, **Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Aging and over consolidation**, Journal of Geotechnique, 36(3), 425-447.
- 9- Hynes M. E. and Olsen R. S., 1998, **Influence of Confining Stress on Liquefaction Resistance**, Proceeding, International Workshop on the Physics and Mechanics of Soil Liquefaction, held 10-11 September 1998, Baltimore, M.D., A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.