

مقایسه ارزیابی پتانسیل روانگرایی با روشهای آزمون مقاومت نفوذ مخروط (CPT) و سرعت موج برشی (V_s) براساس روابط تجربی در جنوب تهران

فرشید عادلای قرجه داغیⁱ، روزبه دبیریⁱⁱ، مسعود حاجیعلیلو بنابⁱⁱⁱ

چکیده

یکی از مسائل ژئوتکنیک لرزه ای در مقابل محققین، کارشناسان و مهندسين متخصص، وقوع پدیده روانگرایی در خاک های دانه ای و مخلوط ماسه- لای اشباع غیر متراکم می باشد. مقاومت روانگرایی خاکها را می توان به روشهای مختلف آزمایشگاهی و صحرایی تعیین نمود. در تحقیق حاضر، نتایج حاصل از دو روش صحرایی ارزیابی پتانسیل روانگرایی آزمون مقاومت نفوذ مخروط (CPT) بر اساس طرح ارائه شده توسط روبرتسون و راید (۱۹۹۸) و اندازه سرعت موج برشی (V_s) با استفاده از طرح ارائه شده توسط اندروس و استوک (۲۰۰۴)، با کاربرد روابط تجربی بین آنها مقایسه گردیده و با استفاده از روش ایواساکی (۱۹۸۲) شاخص وقوع روانگرایی (PL) برای هر دو روش مذکور محاسبه شده است. محدوده مورد مطالعه، قسمتی از جنوب و جنوب شرقی تهران بوده و تعداد ۶۷ حلقه گمانه تحلیل شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از دو روش مذکور با استفاده از سه رابطه تجربی با فرض شرایط سمنتاسیون و غیرسمنتاسیون برای خاکها هماهنگی مناسب و تطابق کامل وجود ندارد. همچنین، شدت خطر وقوع روانگرایی در محدوده مورد مطالعه براساس مقادیر شاخص پتانسیل روانگرایی با استفاده از آزمون CPT در مقایسه با روش V_s دارای مقدار کمتری می باشد.

کلمات کلیدی: روانگرایی، مقاومت نفوذ مخروط (CPT)، سرعت موج برشی (V_s)، روابط تجربی، جنوب تهران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۳/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۹/۱۵

ⁱ فارغ التحصیل مقطع کارشناسی ارشد مهندسی عمران- خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان (farshid_dl@yahoo.com)

ⁱⁱ نویسنده مسئول، استادیار و عضو هیئت علمی تمام وقت گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز (rouzbeh_dabiri@yahoo.com, rouzbehdabiri@gmail.com)

ⁱⁱⁱ دانشیار، عضو هیئت علمی تمام وقت گروه عمران، دانشگاه تبریز (mhbonab@gmail.com)

۱- مقدمه

شرایط زهکشی نشده و همزمان با افزایش فشار آب حفره ای صورت می گیرد. روانگرایی خاک و پدیده های مرتبط با آن در زلزله های سالیان گذشته صدمات زیادی را در سراسر جهان وارد کرده اند. روانگرایی فقط در خاکهای

روانگرایی پدیده ای است که به دلیل کاهش سختی و مقاومت خاک در اثر نیروهای تناوبی مانند زلزله و در

پتانسیل روانگرایی محسوب می شود. برای ارزیابی سطح آب زیرزمینی در گمانه ها از نقش ههای هم عمق آب زیرزمینی دشت تهران که در سالهای مختلف توسط سازمان آب و فاضلاب تهران برای فصول بهار و پاییز تهیه میگردد، استفاده شده است (محمد کاظم جعفری- ۱۳۸۰) [۳]. همچنین گزارش سطح آب زیرزمینی در موقع حفر گمانه نیز در ارزیابی اولیه سطح ایستابی گمانه ها 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 بدلیل چسبندگی ذاتی از قابلیت روانگرایی بسیار کمی برخوردار هستند. خاکهای شنی و ماسه ای ریز و لای دار سست، بدلیل نداشتن چسبندگی قابل ملاحظه، تمایل خاک به کاهش حجم بر اثر ارتعاشات ناشی از زلزله و عدم زهکشی مناسب مستعد روانگرایی میباشد.

۳- تحلیل گمانه ها جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی

برای تحلیل گمانه ها و برآورد پتانسیل روانگرایی بایستی برآوردی از شتاب حداکثر سطح زمین صورت گیرد. بدین منظور حداکثر میزان شتاب برابر $g/0.35$ برای بزرگای زلزله $7/5$ فرض شده است. در تحلیل گمانه ها با استفاده از روش سرعت موج برشی (V_s)، مقادیر سرعت موج برشی و سرعت موج برشی اصلاح شده (V_{s1}) با استفاده از روابط تجربی بین آزمون مقاومت نفوذ مخروط و سرعت موج برشی که توسط ماین و اشنایدر (۱۹۹۹) [۴] ارائه شده محاسبه گردیده است:

$$V_s = 27.7(q_c)^{0.13} \cdot (\sigma'_v)^{0.27} \quad (1)$$

$$V_{s1} = 102(q_{c1N})^{0.25} \quad (2)$$

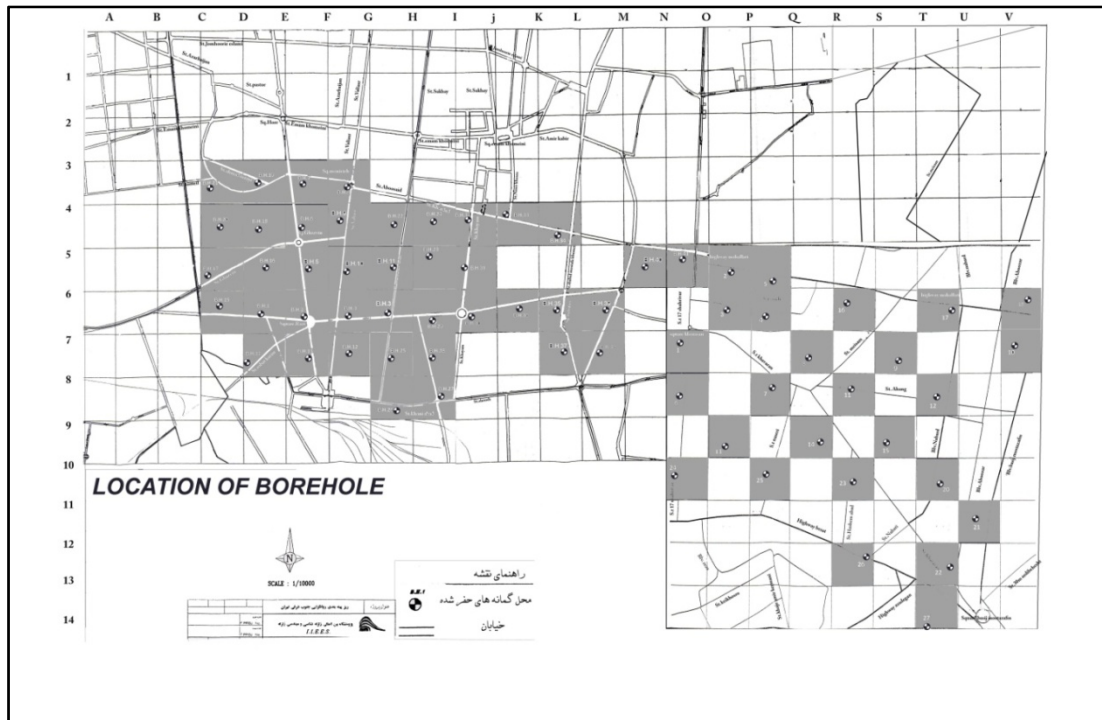
$$V_{s1} = 135(q_{c1N})^{0.23} \quad (3)$$

در روابط فوق، σ'_v تنش موثر قائم در عمق مورد مطالعه، q_c مقاومت نفوذ مخروط، q_{c1N} مقاومت نفوذ مخروط اصلاح شده میباشد.

اشباع غیر متراکم صورت می گیرد. پیش از زلزله فشار آب حفره ای نسبتاً کم است، اما زمانی که خاک و مخصوصاً یک نهشته ماسه ای اشباع تحت ارتعاش قرار گیرد، تمایل به تراکم و کاهش حجم پیدا می کند. در این حالت اگر امکان زهکشی برقرار نباشد، نتیجه کار افزایش فشار حفره ای خواهد بود. اگر به علت ارتعاش پیوسته، فشار حفره ای آب در نهشته ماسه ای افزایش یابد و مقدار آن مساوی فشار سربار گردد در این صورت میزان تنش موثر مساوی صفر می گردد. تحت این شرایط ماسه هیچ گونه مقاومت برشی نخواهد داشت و به حالت مایع در می آید که نهایتاً به چنین حالتی روانگرایی خاک اطلاق می گردد. 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 آزمایشهای نفوذ مخروط (CPT)، مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) و اندازه گیری سرعت موج برشی (V_s) اشاره نمود. در این تحقیق نتایج حاصل از دو روش ارزیابی پتانسیل روانگرایی به وسیله CPT بر اساس طرح ارائه شده توسط روبرتسون و راید (۱۹۹۸) [۱] و اندازه سرعت موج برشی (V_s) بر اساس طرح ارائه شده توسط آندروس و استوک (۲۰۰۴) [۲] با کاربرد روابط تجربی بین آنها مورد مقایسه قرار گرفته است. در ادامه ابتدا شرایط عمومی و لایه بندی خاک در محدوده انتخاب شده در این تحقیق توصیف گردیده و سپس ضمن ارائه خلاصه ای از دو روش مقاومت نفوذ مخروط و سرعت موج برشی در برآورد پتانسیل روانگرایی، نتایج دو روش مذکور براساس روابط تجربی بین آنها در محدوده مورد مطالعه با یکدیگر مقایسه شده اند.

۲- شرایط عمومی و لایه بندی خاک

به منظور ارزیابی نتایج و کاربرد دو روش صحرایی برآورد پتانسیل روانگرایی، اطلاعات ژئوتکنیکی ۶۷ حلقه گمانه حفاری شده در نواحی جنوب و جنوب شرقی تهران جمع آوری و مورد استفاده قرار گرفته است. این گمانه ها در گستره مناطق شهرداری ۱۱ تا ۱۶ تهران قرار داشته و عموماً به روش ماشینی حفاری شده اند. موقعیت گمانه های یاد شده در شکل (۱) نشان داده شده است. عمق سطح ایستابی یکی از عوامل اساسی در ارزیابی های

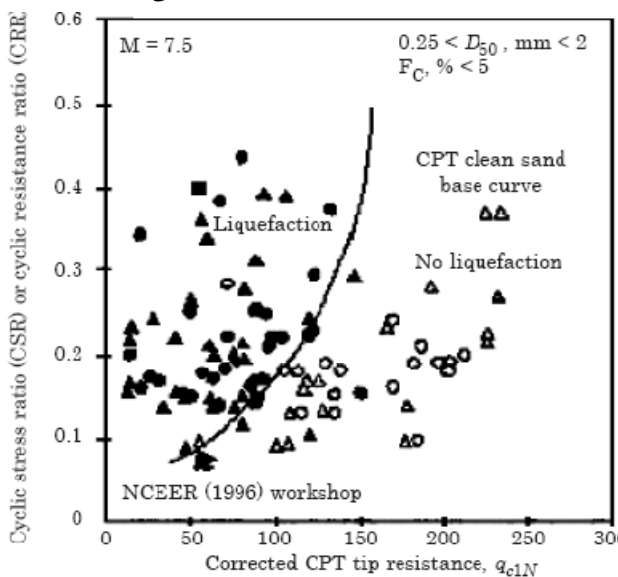


شکل (۱): موقعیت گمانه ها در محدوده مورد مطالعه

$$K_c = -0.403I_c^4 + 5.581I_c^3 - 21.63I_c^2 + 33.57 - 17.88 \quad (۷)$$

for $I_c > 1.64$

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



شکل (۲): نمودار تخمین مقاومت برشی تناوبی توده خاک در روش [۱] CPT

۳-۱- ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از روش مقاومت نفوذ مخروط (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) [۱] 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 (۴)، (۵)، (۶) و (۷) اصلاح شده و با کاربرد شکل (۲) تعیین می گردد.

$$q_{c1N} = \left(\frac{100}{\sigma'_v} \right)^{0.5} \cdot \left(\frac{q_c}{Pa} \right) \quad (۴)$$

$$(q_{c1N})_{CS} = K_c \cdot q_{c1N} \quad (۵)$$

$$K_c = 1.0 \quad \text{for } I_c \leq 1.64 \quad (۶)$$

جدول (۱): ضرائب اصلاحی عدد SPT (اسکمپتون-۱۹۸۶) [۶]

تصحیح	ضریب	نوع دستگاه	عامل تصحیح
$(P_a/\sigma'_{v0})^{0.5}$ $C_N \leq 1.7$	C_N	-	فشار سربار
۰/۵-۱/۰ ۰/۷-۱/۲ ۰/۸-۱/۳	C_E	چکش دونات چکش Safety چکش دونات اتوماتیک	نسبت انرژی
۱/۰ ۱/۰۵ ۱/۱۵	C_B	۶۵-۱۱۵ mm ۱۵۰ mm ۲۰۰ mm	قطر گمانه
۰/۷۵ ۰/۸۵ ۰/۹۵ ۱/۰	C_R	کوچکتر از ۴m ۴-۶ m ۶-۱۰ m بزرگتر از ۱۰m	طول میله
۱/۰ ۱/۱-۱/۳	C_S	نمونه گیر استاندارد نمونه گیر بدون جداره	روش نمونه گیری

میزان درصد ریزدانه در لایه های خاکی مطابق جدول (۲) انتخاب میشود.

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

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

جدول (۲): مقادیر α و β براساس میزان درصد ریزدانه (یود و همکاران-۲۰۰۱) [۵]

درصد ریز دانه	$FC \leq 5\%$	$5\% < FC \leq 35\%$	$FC > 35\%$
	۰		۵
	۱		۱/۲

مرحله دوم ارزیابی پتانسیل روانگرایی، تعیین نسبت تنش برشی تناوبی توده خاک (CSR)، ایجاد شده توسط زلزله در عمق مورد مطالعه، با استفاده از رابطه (۱۱) که توسط سید و ادیس در سال ۱۹۷۱ [۸] ارائه شد میباشد:

$$CSR = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_V}{\sigma'_V} \cdot r_d \quad (11)$$

در رابطه فوق، a_{max} حداکثر شتاب سطحی، g شتاب ثقل زمین، σ_V تنش کل در عمق مورد مطالعه، σ'_V تنش موثر در عمق مورد مطالعه، r_d ضریب کاهش تنش میباشد که با استفاده از نمودارهای شکل (۳) بدست می آید.

نسبت CRR/CSR به نوعی معرف مقدار ضریب اطمینان میباشد که در بخش ۳-۴ به آن اشاره خواهد گردید.

۳-۲- ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از

اندازه گیری سرعت موج برشی (V_s)

ارزیابی خاکهای مستعد روانگرایی (ماسه و لای) با استفاده از مقدار سرعت موج برشی (V_s) در مقایسه با روش CPT ، روش جدیدی میباشد. از این رو مطالعات صورت گرفته در این زمینه محدود است و در ایران به تحقیقات انجام شده توسط عسکری، دبیری و کشاورز (۱۳۸۲ و ۱۳۸۵) [۱۰-۱۱]، شفیعی و عسکری و دبیری (۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) [۱۲-۱۳] عسکری و دبیری و و همکاران

در تحقیق حاضر، بمنظور تعیین مقاومت نفوذ مخروط در لایه های خاکی، ابتدا نتایج آزمون مقاومت نفوذ استاندارد (N_{SPT}) موجود در لوگ گمانه ها با استفاده از ضرائب موجود در جدول (۱) و روابط (۸) و (۹) تصحیح شده و میزان عدد SPT معادل ماسه تمیز تعیین گردید. (یود و همکاران-۲۰۰۱) [۵]:

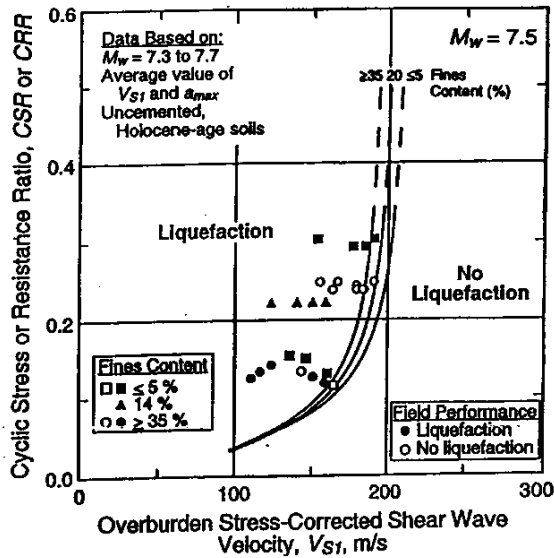
$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (8)$$

$$(N_1)_{60CS} = \alpha + \beta (N_1)_{60} \quad (9)$$

در روابط فوق، C_N ، C_E ، C_B ، C_R و C_S ضرائب اصلاحی عدد SPT ، $(N_1)_{60}$ عدد SPT اصلاح شده و $(N_1)_{60CS}$ عدد مقاومت نفوذ استاندارد معادل ماسه تمیز میباشد. پارامترهای α و β پارامترهای اصلاحی بوده که براساس

$$CRR = K_{a2} \left\{ 0.022 \left(\frac{K_{a1} V_{s1}}{100} \right)^2 + \right. \quad (13)$$

$$\left. 2.8 \left(\frac{1}{V_{s1}^* - K_{a1} V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*} \right) \right\} MSF$$



شکل (۴): ارتباط بین سرعت موج برشی اصلاحی (V_{s1}) و نسبت مقاومت تناوبی (CRR) برای خاکهای بدون سمنتاسیون در درصدهای مختلف ریزدانه و برای بزرگای زلزله ۷/۵ (اندروس و استوک-۲۰۰۴) [۲]

در رابطه فوق، V_{s1}^* حداکثر سرعت موج برشی برای وقوع روانگرایی میباشد که براساس تغییرات میزان درصد ریزدانه بصورت زیر تعیین می گردد:

$$V_{s1}^* = 215 \quad FC \leq 5\% \quad (14a)$$

$$V_{s1}^* = 215 - 0.5(FC - 5) \quad 5 < FC < 35\% \quad (14b)$$

$$V_{s1}^* = 200 \quad FC \geq 35\% \quad (14c)$$

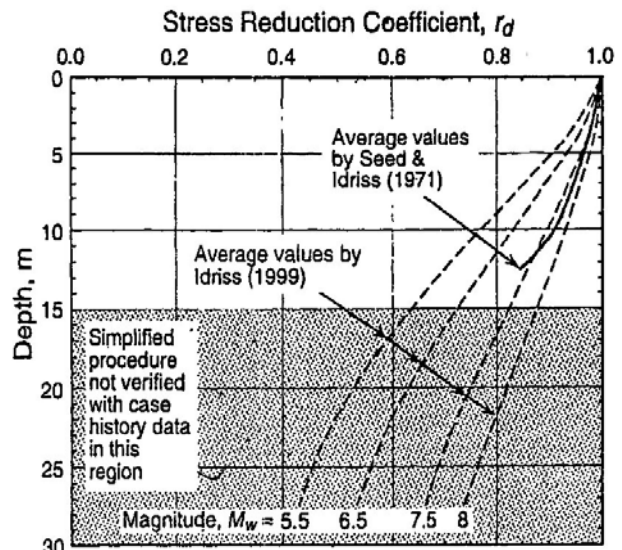
MSF ، فاکتور مقیاس بزرگا زلزله بوده که با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه می شود:

$$MSF = \left(\frac{M_w}{7.5} \right)^{-2.56} \quad (15)$$

در مطالعه مذکور بدلیل آنکه میزان $M_w = 7/5$ فرض شده است بنابراین فاکتور مقیاس بزرگا برابر ۱ می شود.

پارامترهای K_{a1} و K_{a2} به ترتیب ضرائب تاثیر سمنتاسیون خاک بر سرعت موج برشی (V_s) و نسبت مقاومت تناوبی (CRR) می باشند که بترتیب مطابق شکل (۵) و جدول (۳) تعیین می شوند.

(۱۳۹۰) [۱۴] اشاره نمود. در این روش بجای عدد CPT از میزان سرعت موج برشی برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی استفاده می شود. در تحقیق حاضر، از روش و نتایج مطالعات صورت گرفته توسط اندروس و استوک (۲۰۰۴) استفاده شده است. مراحل و اصلاحات مورد نیاز برای استفاده از این روش به طور کامل در ادامه آورده شده است. مقدار سرعت موج برشی بوسیله آزمایشهای صحرایی ژئوسایزیمیک انکساری، درون چاهی و آنالیز طیفی امواج سطحی بدست می آید. مطابق روش مذکور، مقدار سرعت موج برشی اندازه گیری شده در عمقهای مورد مطالعه باید با استفاده از رابطه (۱۲) نسبت به تنش مؤثر قائم در همان عمق اصلاح می شود:



شکل (۳): نحوه تعیین ضریب کاهش تنش (ایدریس-۱۹۹۹) [۹]

$$V_{S1} = V_s \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25} \cdot \left(\frac{0.5}{K_0} \right)^{0.125} \quad (12)$$

که در رابطه فوق، V_s سرعت موج برشی در عمق لایه خاکی مورد مطالعه، V_{S1} سرعت موج برشی اصلاح شده، P_a فشار اتمسفر (برابر ۱۰۰ کیلوپاسکال)، σ'_v تنش مؤثر در عمق مورد مطالعه و K_0 ضریب فشار خاک در حال سکون میباشد که در مطالعه برابر ۰/۳ در نظر گرفته شده است. در تحقیق حاضر، مقادیر V_s و V_{S1} با استفاده از روابط (۱) تا (۳) تعیین شده است.

میزان مقاومت برشی تناوبی (CRR) توده خاک با استفاده از رابطه (۱۳) و نمودارهای شکل (۴) محاسبه می شود.

زمان(سال)	K_{a2}
< ۱۰۰۰۰	۱
۱۰۰۰۰	۱/۱
۱۰۰۰۰۰	۱/۳
۱۰۰۰۰۰۰	۱/۵

۳-۳- اصلاح نسبت مقاومت برشی تناوبی توده خاک (CRR)

شایان ذکر است که در ارزیابی پتانسیل روانگرایی صورت گرفته براساس دو روش مورد استفاده در این مقاله، مقدار برشی تناوبی توده خاک (CRR) در عمق مورد مطالعه، به شرط آنکه مقدار تنش موثر قائم از ۱۰۰ کیلو پاسکال تجاوز کند با استفاده از رابطه زیر اصلاح شده است (هاینس و اولسن-۱۹۹۸) [۱۵]:

$$CRR_j = CRR \cdot K_{\sigma} \quad (16)$$

در رابطه فوق، CRR_j نسبت مقاومت برشی تناوبی توده خاک اصلاح شده، CRR نسبت برشی تناوبی توده خاک در عمق مورد مطالعه و K_{σ} ضریبی است که تابع سستی و متراکم بودن خاک است که با استفاده از رابطه زیر مقدار آن را بدست آورد:

$$K_{\sigma} = \left(\frac{\sigma'_v}{100}\right)^{f-1} \quad (17)$$

برای خاکهای سست $f=0.8$ ، برای خاکهای با تراکم متوسط $f=0.7$ و برای خاکهای خیلی متراکم $f=0.6$ میباشد.

۳-۴- ضریب اطمینان

مقدار ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی برای هر دو روش مورد بررسی با استفاده از رابطه (۱۸) محاسبه میشود:

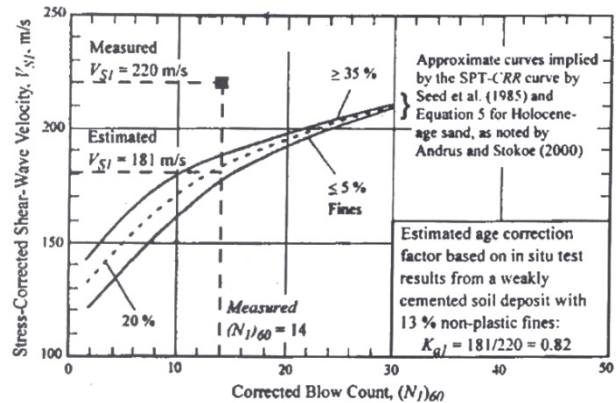
$$Fs = \frac{CRR_j}{CSR} \quad (18)$$

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

۳-۵- شاخص پتانسیل روانگرایی (PL)

جهت برآورد شدت روانگرایی احتمالی در محدوده مورد مطالعه در هر دو روش مورد بررسی از رابطه (۱۹) ارائه

مطابق شکل (۵) نحوه برآورد ضریب K_{a1} با توجه به نتایج آزمایش SPT برای خاکهای با سمنتاسیون ضعیف که دارای ۵ درصد و ۱۰ درصد و ۳۵ درصد ریزدانه باشند ارائه شده است. چنان که در این شکل ملاحظه می شود، مقدار K_{a1} از حاصل تقسیم مقدار سرعت موج برشی اندازه گیری شده از نمودار به مقدار سرعت اندازه گیری شده در محل بدست می آید.



شکل (۵): نمودار پیشنهادی جهت برآورد ضریب سمنتاسیون خاک (K_{a1}) با استفاده از سرعت موج برشی اصلاحی (V_{s1}) و عدد نفوذ استاندارد $(N_1)_{60}$ -SPT (اندروس و استوک-۲۰۰۴) [۲]

در مناطقی که خاک آنها دارای سمنتاسیون و سن بیشتر از ۱۰۰۰۰ سال باشد، سمنتاسیون باعث افزایش مقدار سرعت موج برشی (V_s) اندازه گیری شده در آزمایش های لرزه ای می شود و بنابراین سرعت موج برشی با استفاده از ضریب K_{a1} اصلاح می شود. ضریب K_{a1} بین ۰/۶ تا ۰/۸ متغیر است بدیهی است اگر خاک مورد ارزیابی، بدون سمنتاسیون و سن آن کمتر از ۱۰۰۰۰ سال باشد، مقدار ضریب K_{a2} برابر یک می شود. درحالتیکه وضعیت خاک نامشخص باشد و یا اطلاعات مقاومت نفوذ استاندارد در خاک قابل دسترسی نباشد، مقدار K_{a2} برابر ۰/۶ فرض می شود. در مطالعه حاضر با توجه به اینکه نمودارهای شکل (۵) با داده های مورد مطالعه تطابق نداشته است پارامتر K_{a1} در شرایط سمنتاسیون برای خاک برابر ۰/۷ در نظر گرفته شده است. طبق روش ارائه شده توسط اندروس و استوک (۲۰۰۴) [۲] میزان نسبت تنش برشی تناوبی (CSR) بر اثر وقوع زلزله در عمق مورد مطالعه مانند روش مقاومت نفوذ مخروط با استفاده از رابطه (۱۱) بدست می آید.

جدول (۳): تعیین پارامتر (K_{a2}) با استفاده از سن زمین شناسی

(اندروس و استوک-۲۰۰۴) [۲]

سمنتاسیون برای خاک در گمانه های بررسی شده در جدولهای (۶) و (۷) ارائه شده است.

جدول (۵): شاخص پتانسیل روانگرایی با استفاده از نتایج آزمایش CPT

شاخص	$P_L=0$	$0 < P_L < 5$	$5 < P_L < 15$	$P_L > 15$
پتانسیل روانگرایی				
تعداد	۲۰	۲۶	۱۲	۹
درصد	۲۹/۸	۳۸/۸	۱۷/۹	۱۳/۵

جدول (۶): شاخص پتانسیل روانگرایی با استفاده از سرعت موج برشی (با فرض غیر سمنتاسیون بودن خاک)

رابطه (۱)

شاخص	$P_L=0$	$0 < P_L < 5$	$5 < P_L < 15$	$P_L > 15$
پتانسیل روانگرایی				
تعداد	۱	۲۹	۲۳	۱۴
درصد	۱/۵	۴۳/۳	۳۴/۳	۲۰/۹

رابطه (۲)

تعداد	۳	۳۰	۲۳	۱۱
درصد	۴/۵	۴۴/۸	۳۴/۳	۱۶/۴

رابطه (۳)

تعداد	۳۲	۳۳	۱	۱
درصد	۴۷/۷	۴۹/۳	۱/۵	۱/۵

ج- در ۶۷ حلقه گمانه آنالیز شده، ۱۸۰ مورد لای و ۲۳۹ مورد ماسه بوده است. در جدول (۸) نتایج کلی ارزیابی پتانسیل روانگرایی CPT و Vs براساس سه رابطه تجربی در اعماق مختلف با فرض دو حالت سمنتاسیون و غیرسمنتاسیون بودن خاک ارائه شده است.

د- نمودارهای مربوط به شاخص پتانسیل روانگرایی در دو روش مقاومت نفوذ مخروط و اندازه سرعت موج برشی براساس سه رابطه تجربی در دو حالت سمنتاسیون و غیر سمنتاسیون خاک در شکل‌های (۶) و (۷) ارائه شده است.

و- به منظور مقایسه بهتر، درصد موارد مطابقت و عدم مطابقت نتایج حاصل از این دو روش در عمق های

شده توسط ایواساکی و همکاران (۱۹۸۲) [۱۶] استفاده شده است:

$$P_L = \int_0^{20} F(Z) \cdot W(Z) \cdot dZ \quad (19)$$

$$F(Z) = 1 - F_s \quad (20)$$

$$W(Z) = 10 - 0.5Z \quad (21)$$

جدول (۴): تعیین میزان خطر روانگرایی (ایواساکی و همکاران - ۱۹۸۲) [۱۶]

$P_L=0$	خطر پذیری روانگرایی خیلی پایین است. تحقیقات، مطالعات و اندازه‌گیریهای جزئی نیاز نمی‌باشد.
$0 < P_L < 5$	خطر پذیری روانگرایی پایین است. تحقیقات بیشتری مورد نیاز است. اندازه‌گیریهای روانگرایی مورد نیاز است.
$5 < P_L < 15$	خطر پذیری روانگرایی بالا است. تحقیقات بیشتری مورد نیاز است. اندازه‌گیریهای روانگرایی مورد نیاز است.
$P_L > 15$	خطر پذیری روانگرایی خیلی بالا است. تحقیقات و اندازه‌گیریهای زیادی مورد نیاز است.

در رابطه فوق، P_L شاخص پتانسیل روانگرایی، F_s ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی در عمق مورد مطالعه، Z عمق مورد مطالعه می باشد. مقدار P_L بین صفر تا ۱۰۰ متغیر میباشد و جدول (۴) پتانسیل روانگرایی را بر اساس شاخص پتانسیل روانگرایی به چهار قسمت طبقه بندی مینماید.

۳-۶- ارزیابی نتایج بدست آمده از تحلیل داده ها

نتایج حاصل از ارزیابی دو روش آزمون مقاومت نفوذ مخروط و سرعت موج برشی براساس روابط تجربی بین ها (در بخش ۳ به آن اشاره شده است) را می توان بصورت زیر بیان نمود [۱۷]:

الف- مقادیر شاخص پتانسیل روانگرایی (P_L) براساس نتایج آزمون مقاومت نفوذ مخروط در گمانه های بررسی شده در جدول (۵) قابل مشاهده می باشد.

ب- مقادیر شاخص پتانسیل روانگرایی (P_L) براساس نتایج روش اندازه گیری سرعت موج برشی با کاربرد روابط تجربی با فرض حالت‌های سمنتاسیون و غیر

مشترک، با توجه مقدار ضریب اطمینان حاصل از هر یک از دو روش در آن عمق در جدول (۹) آورده شده است.

با مشاهده نتایج ارائه شده در قسمت های فوقانی میتوان دریافت که بین دو روش مورد بررسی در تحقیق حاضر با استفاده از روابط تجربی بین آنها هماهنگی مناسبی مشاهده نمی گردد. (به غیر از رابطه (۲) - با فرض غیر سمنتاسیون برای خاک) علت تفاوت نتایج ناشی از تحلیل داده ها می تواند ناشی از یکی از موارد ذیل باشد:

۱- میزان عدد مقاومت نفوذ مخروط لایه ها در تحقیق حاضر براساس رابطه تجربی بین عدد N_{SPT} و q_c تعیین گردیده است که می تواند با شرایط لایه های خاکی موجود در محدوده مورد مطالعه متناسب نباشد.

۲- رابطه های تجربی به کار برده شده برای برآورد میزان سرعت موج برشی براساس نتایج آزمون مقاومت نفوذ مخروط از دقت کافی برخوردار نبوده و برای داده های محدوده مورد مطالعه مناسب نباشد.

جدول (۷): شاخص پتانسیل روانگرایی با استفاده از سرعت موج برشی (با فرض سمنتاسیون بودن خاک)

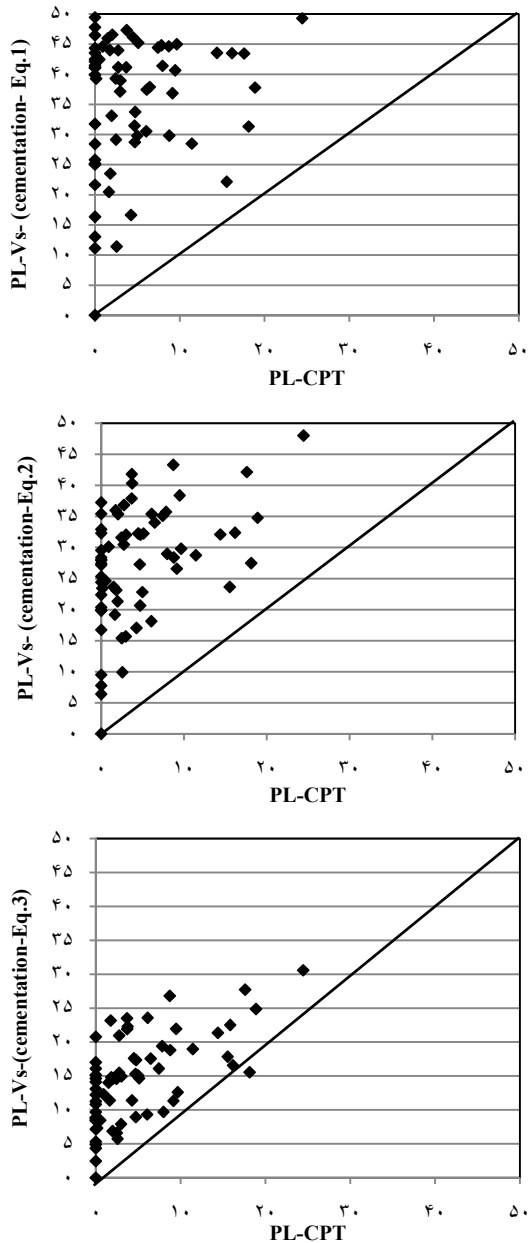
رابطه (۱)				
شاخص پتانسیل روانگرایی	$P_L=0$	$0 < P_L < 5$	$5 < P_L < 15$	$P_L > 15$
تعداد	۱	۰	۰	۶۶
درصد	۱/۵	۰/۰	۰/۰	۹۸/۵
رابطه (۲)				
تعداد	۱	۰	۴	۶۲
درصد	۱/۵	۰/۰	۶	۹۲/۵
رابطه (۳)				
تعداد	۱	۳	۱۶	۴۷
درصد	۱/۵	۴/۵	۲۲/۹	۷۰/۱

جدول (۸): نتایج برآورد پتانسیل روانگرایی در اعماق مختلف خاک با استفاده از روش های CPT و V_s براساس سه رابطه تجربی

جنس خاک	نوع خاک	تعداد موارد							
		روانگرا در روش CPT	روانگرا در روش (V_s) رابطه (۱)	روانگرا در روش (V_s) رابطه (۲)	روانگرا در روش (V_s) رابطه (۳)	غیرروانگرا در روش CPT	غیرروانگرا در روش (V_s) رابطه (۱)	غیرروانگرا در روش (V_s) رابطه (۲)	غیرروانگرا در روش (V_s) رابطه (۳)
لای	بدون سمنتاسیون	۵۴	۱۲۹	۹۶	۳۰	۱۲۷	۵۱	۸۴	۱۵۰
لای	دارای سمنتاسیون	۵۴	۱۸۰	۱۶۹	۱۴۹	۱۲۷	۰	۱۱	۳۱
ماسه	بدون سمنتاسیون	۶۹	۲۱۵	۱۵۹	۴۴	۲۷۹	۱۳۴	۱۹۰	۳۰۵
ماسه	دارای سمنتاسیون	۶۹	۳۴۹	۳۲۷	۲۶۹	۲۷۹	۰	۲۲	۸۰

اندروس و استوک برای محدوده مورد مطالعه مناسب نباشد.

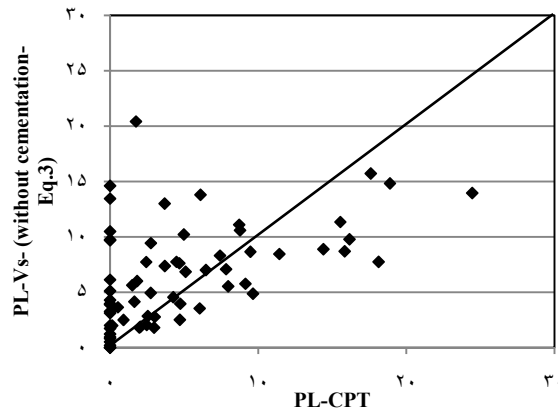
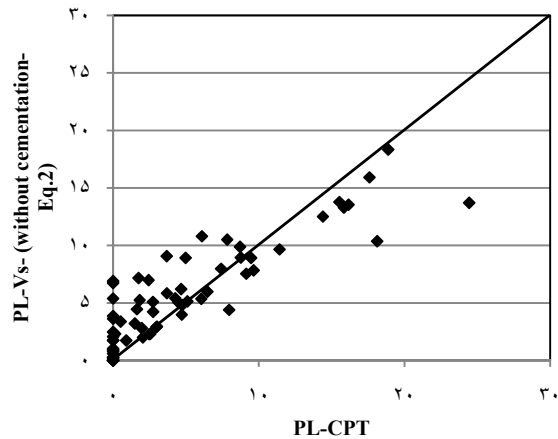
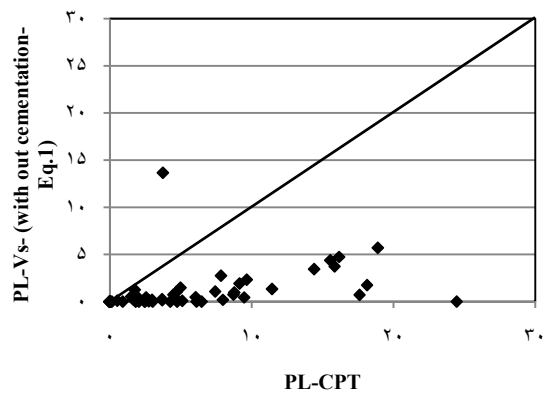
۵- ممکن است پارامترهای a و b در رابطه تعیین CRR براساس آزمون V_s برای داده های محدوده مورد مطالعه مناسب نباشد.



شکل (۷): مقایسه نتایج ارزیابی شاخص پتانسیل روانگرایی با استفاده از دو روش CPT و V_s در حالت سمنتاسیون بودن خاک

۴- بحث و نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، دو روش صحرایی ارزیابی پتانسیل روانگرایی شامل روش های آزمون مقاومت نفوذ مخروط (CPT) و سرعت موج برشی (V_s) براساس روابط تجربی بین آنها مورد بررسی قرار گرفت.



شکل (۶): مقایسه نتایج ارزیابی شاخص پتانسیل روانگرایی با استفاده از دوروش CPT و V_s در حالت غیرسمنتاسیون بودن خاک

۳- در تعیین مقاومت برشی تناوبی توده خاک (CRR) با استفاده از روش سرعت موج برشی پارامترهای K_{a1} و K_{a2} براساس نوع خاک (سمنتاسیون یا غیرسمنتاسیون) محاسبه می شود. امکان اینکه مقدار این پارامتر که توسط اندروس و استوک توصیه شده برای محدوده مورد مطالعه مناسب نباشد وجود دارد.

۴- ممکن میزان حداکثر سرعت موج برشی برای وقوع روانگرایی (V_{s1}^*) در لایه های خاکی توصیه شده توسط

مقایسه ضرائب اطمینان و مقادیر شاخص پتانسیل روانگرایی دو روش فوق حاکی از آن است که شدت وقوع روانگرایی در محدوده مورد مطالعه براساس مقادیر شاخص پتانسیل روانگرایی حاصل از روش *CPT*، ضعیف بوده و ۷۰ درصد گمانه ها دارای مقدار *PL* بین صفر تا ۵ می باشد. همچنین، با توجه به مقادیر شاخص پتانسیل روانگرایی حاصل از کاربرد روش سرعت موج برشی براساس سه روابط تجربی با فرض سمنتاسیون بودن خاک مشاهده می گردد که شدت وقوع روانگرایی در محدوده مورد مطالعه برپایه روابط تجربی زیاد بوده و مقدار شاخص پتانسیل روانگرایی در ۹۴ درصد گمانه ها بصورت میانگین بیش از ۱۵ بدست آمده است. همچنین با فرض سمنتاسیون بودن خاک در محدوده مورد مطالعه شدت وقوع روانگرایی با درجات مختلف تعیین گردیده است بطوریکه برپایه رابطه (۱)، ۵۵ درصد گمانه ها دارای مقدار *PL* بزرگتر از ۵ بوده و ۹۷ درصد گمانه با کاربرد رابطه (۳) دارای شاخص پتانسیل روانگرایی صفر میباشند. براساس رابطه تجربی (۲) حدود ۵۰ درصد گمانه ها دارای مقدار *PL* بزرگتر از ۵ هستند. در انتها با مقایسه مقادیر ضرائب اطمینان ارائه شده در جدول های (۸) و (۹) و نمودارهای مقایسه ای شاخص های پتانسیل روانگرایی حاصل از دو روش به کار برده شده براساس روابط تجربی و در دو حالت فرض سمنتاسیون و غیر

سمنتاسیون خاک (شکل های ۶ و ۷) مشاهده میشود که بین روشهای ارزیابی پتانسیل روانگرایی *CPT* و *Vs* براساس روابط تجربی (به غیر از رابطه ۲ در حالت غیر سمنتاسیون خاک) هماهنگی و تطابق مناسبی مشاهده نمی گردد. بطوریکه با فرض سمنتاسیون بودن خاک براساس روش *Vs* شدت وقوع روانگرایی در مقایسه با روش *CPT* افزایش یافته و برخلاف آن، با فرض غیر سمنتاسیون بودن خاک مقدار شاخص پتانسیل روانگرایی (*PL*) کاهش یافته و تقریباً نزدیک به نتایج حاصل از روش مقاومت نفوذ مخروط میباشد.

با توجه به نتایج بدست آمده حاصل از دو روش *CPT* و *Vs* در ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاکها براساس کاربرد روابط تجربی در محدوده مورد مطالعه مشاهده میشود که روابط موجود بین اعداد آزمون مقاومت نفوذ مخروط و سرعت موج برشی مناسب نمی باشد. زیرا روابط حاضر تابع جنس خاک، نوع آزمایش، دقت نحوه انجام آزمایش میباشد. بنابراین به منظور تهیه نتایج مفید و مناسب در مطالعات صحرایی ارزیابی پتانسیل روانگرایی بهتر است هر دو آزمون به صورت همزمان انجام شود تا نتایج با هم مقایسه گردیده و کنترل شوند. همچنین، تحقیقاتی صورت گیرد تا روابطی بحالت جداگانه و براساس نوع جنس خاک برای محدوده مورد مطالعه ارائه گردد.

جدول (۹): درصد موارد مطابقت نتایج حاصل از دو روش در عمق های مشترک

جنس خاک	نوع خاک	روانگرا نشده در هر دو روش V_s و CPT رابطه (۱)	روانگرا شده در هر دو روش V_s و CPT رابطه (۲)	روانگرا نشده در هر دو روش V_s و CPT رابطه (۳)	روانگرا نشده در هر دو روش V_s و CPT رابطه (۱)	روانگرا نشده در هر دو روش V_s و CPT رابطه (۲)	روانگرا نشده در هر دو روش V_s و CPT رابطه (۳)
لائی	دارای سمنتاسیون	۴۴	۴۴	۴۴	۰	۳۴	۲۸
لائی	بدون سمنتاسیون	۴۴	۴۴	۲۲/۷	۲۷/۷	۳۰/۵	۳۳
ماسه	دارای سمنتاسیون	۵۶	۵۶	۵۶	۰	۶۵/۶	۷۲
ماسه	بدون سمنتاسیون	۵۶	۵۶	۳۵/۷	۷۲/۸	۶۹/۴	۶۷/۰۳

۵- مراجع

- [۱۰] عسکری، فرج ا...؛ دبیری، روزبه؛ کشاورز بخشایش، محمد؛ "ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از سرعت موج برشی"، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره اول، بهار، شماره ۱۹، صفحات ۲۴-۳۲، ۱۳۸۲.
- [۱۱] عسکری، فرج ا...؛ دبیری، روزبه؛ کشاورز بخشایش، محمد؛ "مقایسه نتایج ارزیابی پتانسیل روانگرایی با روشهای مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) و اندازه گیری سرعت موج برشی (Vs)"، ژورنال زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره ۲، شماره ۸، ۱۳۸۵.
- [۱۲] شفیع، علی؛ عسکری، فرج ا...؛ دبیری، روزبه؛ "بررسی آئین نامه اتحادیه اروپا (Euro code 8) در ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاکها در جنوب شرق تهران"، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره سوم، پاییز، شماره ۳، صفحات ۱۶، ۱۳۸۷.
- [۱۳] شفیع، علی؛ عسکری، فرج ا...؛ دبیری، روزبه؛ "تعیین رابطه بین مقاومت روانگرایی مخلوطهای ماسه- لای و سرعت موج برشی (Vs) برپایه مطالعات آزمایشگاهی"، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۱-۱۳ اردیبهشت، صفحات ۲۴۲-۲۵۰، ۱۳۸۶.
- [۱۴] Askari, Faradjollah; Dabiri, Rouzbeh; Shafiee, Ali; Jafari, Mohhammad Kazem, "Liquefaction Resistance of Sand-Silt Mixtures using Laboratory based Shear Wave Velocity", International Journal of Civil Engineering, Vol.9, No.2, p.p. 135-144, 2011.
- [۱۵] Hynes M.E. ; Olsen R.S., "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, , 1998.
- [۱۶] Iwasaki, T. et al. "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified method", TC4, p.p.1319-1330, 1982.
- [۱۷] عادل، فرشید؛ دبیری، روزبه؛ حاجیعلیلو بناب، مسعود؛ "ارزیابی پتانسیل روانگرایی مخلوطهای ماسه و لای برپایه آزمونهای مقاومت نفوذ مخروط (CPT) و اندازه گیری سرعت موج برشی (Vs) با استفاده از روابط تجربی"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان.
- [۱] Robertson P.K.; Wride C.E. "Evaluation Cyclic Liquefaction Potential Using the Cone Penetration Test", Canadian Geotechnical Journal, Vol.35, No.3, pp.442, 1998.
- [۲] Andrus R.D.; Chung R.M.; Juang C.H.; Stokoe K.H."Guidelines for Evaluating Liquefaction Resistance Using Shear Wave Velocity Measurement and Simplified Procedure", GCR 03, 2004.
- [۳] جعفری، محمد کاظم؛ گزارش نهایی مطالعات تکمیلی ریز پهنه بندی لرزه‌ای جنوب تهران، برنامه ملی تحقیقات، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۰.
- [۴] Schneider J.A.; Mayne P.W.; "Soil Liquefaction Response in Mid-America Evaluated by seismic Piezocone Tests", Mid-America Earthquake Center Report MAE-GT-3A, Geosystem Program Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332. 1999.
- [۵] Youd, T. L.; Idriss, I. M.; Andrus R. D.; Arango, R. C.; Castro, G.; Christian, J. T.; Dobry, R.; Finn, W. D. L.; Harder, Jr. L. F.; Hynes, M. E.; Ishihara, K.; Koester, J. P.; Liao, S. S. C.; Marcuson, III, W. F.; Martin, G. R.; Mitchell, J. K.; Moriwaki, Y.; Power, M. S.; Robertson, P. K.; Seed, R. B.; Stokoe, II, K. H.; "Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol.127, No.10, p.p.297-313, 2001.
- [۶] Skempton A. K.; "Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Aging and Overconsolidation", Journal of Geotechnique, Vol.36, No.3, p.p.425, 1986.
- [۷] Robertson, P. K.; Campanella R. G. "Liquefaction Potential of Sands using the CPT". Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 111, no 3, p.p. 384-403, 1985.
- [۸] Seed H. B.; Idriss I. M.; "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.97, SM9 p.p.1249-1273, 1971.
- [۹] Idriss I. M., "An Update of the Seed-Idriss Simplified Procedure For Evaluation Liquefaction Potential", Presentation Notes for Transportation Research Board Workshop on New Approaches to Liquefaction Analysis, Held 10 Jan. 1999, Washington D.C., 1999