

بررسی آیین‌نامه اتحادیه اروپا (Eurocode 8) در ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاکها در جنوب شرق تهران

علی شفیع، استادیار پژوهشکده ژئوتکنیک پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
فرج‌ا... عسکری، استادیار پژوهشکده ژئوتکنیک پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
روزبه دبیری، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

۱- چکیده

که در نهایت با تنش همه جانبه برابر و در نتیجه مقدار تنش مؤثر به صفر نزدیک می‌شود. در این حالت خاک توانایی باربری نداشته و بروز پدیده‌هایی نظیر نشست، تغییرشکل‌های بزرگ، جوشش ماسه و بالا آمدن سازه‌های مدفون باعث بروز خساراتی فراوان می‌شود. به عنوان نمونه از این آسیبها می‌توان به بروز پدیده روانگرایی در زلزله‌های ۱۹۶۴ نیگاتای ژاپن، ۱۳۶۹ منجیل ایران، ۱۹۹۹ ایزمیت ترکیه و ۲۰۰۰ توتوری ژاپن، اشاره نمود. در تحقیقات انجام شده بر روی زلزله‌هایی که در چهار دهه گذشته اتفاق افتاده، مشاهده شده که پدیده روانگرایی نه تنها در خاکهای ماسه‌ای تمیز بلکه در خاکهای مخلوط ماسه-لای، ماسه-رس، ماسه-شن و رسها (در شرایط خاص) بوقوع پیوسته است.

مقاومت روانگرایی خاکها را می‌توان به روشهای مختلف آزمایشگاهی مانند برش ساده تناوبی [۳]، سه محوری تناوبی و برش پیچشی تناوبی [۴] و صحرایی همچون آزمونهای مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) [۵]، مقاومت نفوذ مخروط (CPT) [۶]، و اندازه‌گیری سرعت موج برشی (V_s) [۷] تعیین نمود. فلسفه کلی تعیین پتانسیل روانگرایی خاکها در سه بخش قابل بیان است. در بخش اول بایستی نسبت تنش تناوبی (CSR)، که بیان‌کننده اعمال بارگذاری لرزه‌ای در توده خاک می‌باشد، تعیین شود به طوری که تنش‌های تناوبی ایجاد شده توسط حرکت‌های زمین در اثر زلزله در عمق‌های مختلف نهشته مشخص گردد. بخش دوم، تعیین نسبت مقاومت تناوبی (CRR) است که میزان تنش‌های برشی مورد نیاز برای وقوع روانگرایی در خاکها را نشان می‌دهد. پارامتر CRR بر پایه نتایج آزمونهای صحرایی و

روانگرایی، از پدیده‌هایی می‌باشد که به هنگام وقوع زلزله در خاکهای اشباع غیرمترکم از نوع ماسه ریز یا لای درشت مشاهده می‌شود. تعیین مقاومت روانگرایی خاکها از مراحل مهم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها و ابنیه‌های ژئوتکنیکی و پهنه‌بندی لرزه‌خیزی می‌باشد. روشهای مختلف صحرایی و آزمایشگاهی جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی ارائه شده است که با توجه به هزینه بالا و دشواری تهیه نمونه‌های دست‌نخورده برای آزمونهای آزمایشگاهی، روشهای صحرایی در این زمینه متداولتر می‌باشد. در این تحقیق، نتایج حاصل از دو روش تعیین پتانسیل روانگرایی خاکها، به ترتیب آیین‌نامه اتحادیه اروپا (Eurocode 8-1998) [۱] و روش کمیته ملی تحقیقات مهندسی زلزله آمریکا (NCEER-1997) [۲]، که بر پایه نتایج آزمون مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) می‌باشند، در سه گمانه حفر شده در جنوب شرقی تهران مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که روش ارائه شده توسط NCEER نسبت به Eurocode 8 در ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاکها محافظه‌کارانه‌تر می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: روانگرایی، آزمون مقاومت نفوذ استاندارد (SPT)، آبرفتهای تهران

۲- مقدمه

بخش وسیعی از خسارتهای ناشی از زلزله مربوط به وقوع پدیده‌های مختلف ژئوتکنیک لرزه‌ای می‌باشد که یکی از آنها روانگرایی ماسه‌ها و لای‌های اشباع غیرمترکم است. در زمان وقوع این پدیده، میزان فشار آب حفره‌ای به علت کاهش حجم خاک در اثر ارتعاشات لرزه‌ای افزایش می‌یابد

جدول (۱): مقدار پارامتر S بر اساس آیین‌نامه Eurocode 8 [۱]

شرح خاکها	S	نوع خاک
۱- سنگ و دیگر تشکیلات و ساختار زمین‌شناسی که سرعت موج برشی در آنها حداقل 800 m/s است و حداکثر تا عمق ۵ متری از سطح زمین شامل مصالح ضعیف (هوازده) باشند. ۲- لایه‌های متراکم ماسه، شن یا رس پیش تحکیم یافته که دارای ضخامت چندین ۱۰ متر که مشخصات مکانیکی آنها با افزایش عمق به طور آهسته افزایش می‌یابد و سرعت موج برشی در هر عمق ۱۰ متری برابر حداقل 400 m/s باشد.	۱	A
لایه‌های عمیق ماسه با تراکم متوسط، شن و رس با سفتی متوسط در ضخامت‌های چندین ۱۰ متر تا چندین ۱۰۰ متر که حداقل مقدار سرعت موج برشی در یک عمق ۱۰ متری حدود 200 m/s و در یک عمق ۵۰ متری حدود 350 m/s باشد.	۱	B
۱- لایه‌های خاک غیرچسبنده و شل همراه یا بدون لایه‌های خاک چسبنده که میزان سرعت موج برشی تا عمق ۲۰ متری کمتر از 200 m/s باشد. ۲- لایه‌های دارای خاک چسبنده با سفتی کم تا متوسط که میزان سرعت موج برشی تا عمق ۲۰ متر کمتر از 200 m/s باشد.	۰/۹	C

جدول (۲): تعیین فاکتور مقیاس بزرگا (CM) بر حسب بزرگای زلزله امواج سطحی [۱]

M_s	CM
۵/۵	۲/۸۶
۶	۲/۲
۶/۵	۱/۶۹
۷	۱/۳
۸	۰/۶۷

از مشاهدات صحرایی حاصل از آزمون مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) استفاده می‌نماید. سید و ادریس [۸] تنش‌های برشی ایجاد شده در هر نقطه از نهشته‌های خاکی در هنگام زلزله، را عمدتاً به دلیل انتشار قائم امواج برشی در نهشته دانسته‌اند و روش ساده‌ای برای تعیین تنش‌های برشی ایجاد شده، تدوین نمودند. آنان برای تعیین نسبت تنش تناوبی (CSR) در بزرگای زلزله $7/5$ ، رابطه (۳) را ارائه نمودند.

$$CSR_{7.5} = 0.65 \left(\frac{\alpha_{\max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_V}{\sigma'_V} \right) \cdot r_d \cdot \left(\frac{1}{MSF} \right) \quad (3)$$

آزمایشگاهی برآورد می‌شود. در بخش انتهایی، با مقایسه پارامترهای CRR و CSR می‌توان در ارتباط با احتمال وقوع روانگرایی در اعماق مختلف خاک قضاوت نمود. در این مقاله، طریقه تعیین پارامترهای نسبت تنش تناوبی (CSR)، نسبت مقاومت تناوبی (CRR) و ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی خاکها (F_s)، بر اساس روشهای آیین‌نامه اتحادیه اروپا (Eurocode 8-1998) [۱] و روش کمیته ملی تحقیقات مهندسی زلزله آمریکا (NCEER-1997) [۲] مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه نتایج دو روش در سه گمانه مختلف با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۳- تعیین نسبت تنش تناوبی (CSR)

بر اساس بخش پنجم آیین‌نامه Eurocode 8 [۱] که از سال ۱۹۹۸ در کشورهای اروپایی مورد استفاده قرار گرفته، میزان نسبت تنش تناوبی (CSR) که نشانگر اعمال بارگذاری لرزه‌ای در توده خاک می‌باشد، با استفاده از رابطه (۱) تعیین می‌شود:

$$CSR = 0.65 \cdot \alpha \cdot S \cdot \frac{\sigma_V}{\sigma'_V} \quad (1)$$

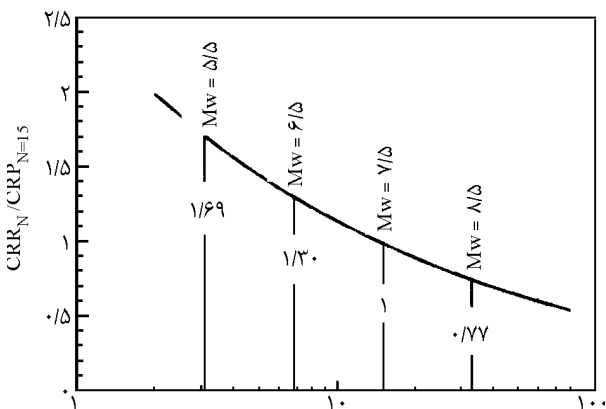
در رابطه فوق، (g) شتاب ثقلی زمین ($9/81\text{ m/s}^2$)، (σ'_V) تنش مؤثر قائم در عمق مورد مطالعه (kPa)، (σ_V) تنش همه‌جانبه در عمق مورد مطالعه (kPa)، ($\alpha = \frac{a_{\max}}{g}$) نسبت حداکثر شتاب سطحی به شتاب ثقل و (S) پارامتر مربوط به پروفیل خاک می‌باشد، جدول (۱). در آیین‌نامه Eurocode 8 [۱]، پروفیل خاک مطابق جدول (۱) به سه درجه A ، B و C طبقه‌بندی می‌شود.

مقدار نسبت تنش تناوبی (CSR) طبق رابطه (۲) برای بزرگای زلزله امواج سطحی $7/5$ تعیین می‌شود. برای تعیین میزان CSR در بزرگاهای دیگر، آیین‌نامه Eurocode 8 [۱] فاکتور مقیاس بزرگای زلزله (CM) را مطابق جدول (۲) بر حسب بزرگای زلزله امواج سطحی (CM) معرفی نموده است.

$$CSR = \frac{CSR_{7.5}}{CM} \quad (2)$$

روش ارائه شده توسط کمیته ملی تحقیقات مهندسی زلزله آمریکا در سال ۱۹۹۷ [۲]، بر پایه روش ساده شده سید و ادریس [۸] می‌باشد که برای تعیین مقاومت روانگرایی خاکها

عامل مقیاس بزرگای زلزله یک نشانه تقریبی از استمرار تکنایهای ناشی از زلزله یا تعداد معادل تنش‌های برشی تناوبی یک زلزله است. مطابق شکل (۲)، ضرائب فاکتور مقیاس بزرگا از همبستگی تعداد تناوب‌های یکنواخت معادل با مقادیر بزرگاهای زلزله مختلف و ارتباط نسبت تنش‌های تناوبی مورد نیاز برای وقوع روانگرایی با تعداد تنش‌های یکنواخت بر پایه مطالعات آزمایشگاهی می‌باشد [۲].



تعداد تناوبهای مورد نیاز برای کرنش محوری دو کله ۵٪ یا ۲۱۱ برابر ۱۰۰٪.

شکل (۲): ضرائب فاکتور مقیاس بزرگای زلزله بر حسب بزرگاهای زلزله مختلف و تعداد تناوب‌های مورد نیاز برای وقوع روانگرایی [۲].

رابطه پیشنهاد شده توسط مؤسسه NCEER [۲] به منظور تعیین فاکتور مقیاس بزرگای زلزله (MSF)، به شرح زیر می‌باشد:

$$MSF = \left(\frac{Mw}{7.5} \right)^n \quad (۶)$$

در این رابطه، Mw بزرگای زمین‌لرزه می‌باشد، حد پایین فاکتور مقیاس برای بزرگای زلزله کمتر از ۷/۵ زمانی است که مقدار n برابر ۲/۶۵- باشد و زمانی که مقدار n برابر ۳/۳- باشد، حد بالای فاکتور مقیاس بزرگای زلزله تعیین می‌شود. مؤسسه NCEER [۲] توصیه می‌نماید که جهت تعیین فاکتور مقیاس بزرگا برای زلزله‌های بزرگتر از ۷/۵، میزان n برابر ۲/۶۵- در نظر گرفته شود و در صورتی که از رابطه (۶) برای تعیین MSF استفاده می‌شود، میزان r_d از نمودارهای شکل (۱) برآورد گردد.

در رابطه (۳)، (CSR) نسبت تنش تناوبی، (a_{max}) حداکثر شتاب سطحی (m/s^2) ، (g) شتاب ثقلی زمین $(9.81 m/s^2)$ ، (σ'_v) تنش قائم کل در عمق مورد مطالعه (kPa) ، (σ'_v) تنش مؤثر قائم در عمق مورد مطالعه (kPa) ، (r_d) ضریب کاهش تنش و (MSF) فاکتور مقیاس بزرگای زلزله می‌باشد. در رابطه (۳)، از ضریب کاهش تنش (r_d) استفاده شده که مقدار آن با استفاده از روابط (۴) تا عمق ۳۰ متر تعیین می‌شود [۸].

$$r_d = 1 - 0.00765 Z \quad Z < 9.15m \quad (۴ \text{ الف})$$

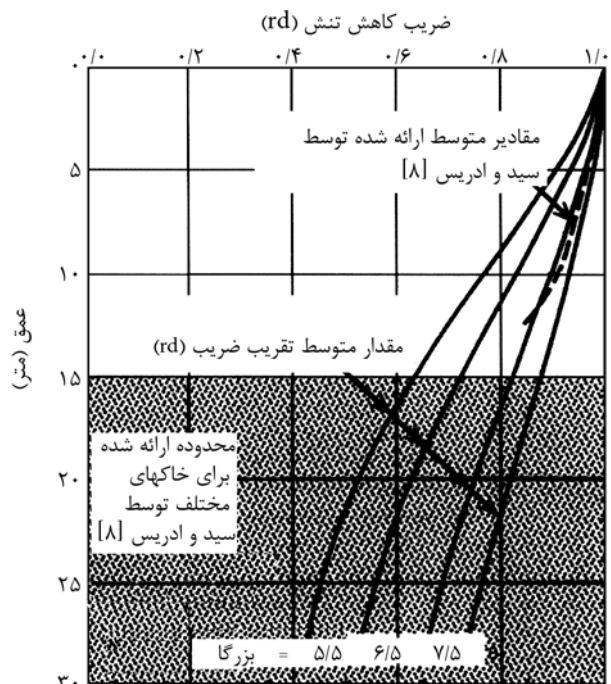
$$9.15m \leq Z < 23m \quad r_d = 1.174 - 0.0267Z \quad (۴ \text{ ب})$$

$$r_d = 0.744 - 0.008Z \quad 23m \leq Z < 30m \quad (۴ \text{ ج})$$

$$r_d = 0.5 \quad Z \geq 30m \quad (۴ \text{ د})$$

کمیته ملی تحقیقات مهندسی زلزله آمریکا در سال ۱۹۹۷ [۲]، نمودارهای شکل (۱) را براساس تحقیقات سید و ادیس در سال ۱۹۷۱ [۸]، برای تعیین میزان r_d پیشنهاد نموده است. عامل مقیاس بزرگای زلزله (MSF)، ضریبی برابر با نسبت تنش برشی تناوبی (CSR) ایجاد شده در بزرگای زلزله M به نسبت تنش برشی تناوبی در بزرگای زلزله ۷/۵ می‌باشد، که می‌توان آن به صورت رابطه (۵) ارائه نمود:

$$MSF = \frac{CSR_{M=7.5}}{CSR_M} \quad (۵)$$



شکل (۱): تعیین ضریب کاهش تنش (r_d) در عمق‌های مختلف [۸].

۴- تعیین نسبت مقاومت تناوبی (CRR)

در آیین‌نامه Eurocode 8 [۱]، میزان نسبت مقاومت روانگرایی خاکها از نتایج آزمون صحرایی مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) به دست می‌آید. بر این اساس ابتدا میزان عدد مقاومت نفوذ استاندارد (N_{SPT}) که حاصل از شمارش تعداد ضربات ناشی از سقوط وزنه از ارتفاع ۳۰ سانتیمتری بر روی نهشته خاکی است، برآورد می‌شود. سپس این عدد مطابق رابطه (۷) بر حسب تنش مؤثر سربار ۱۰۰ کیلو پاسکال و نسبت انرژی تصحیح می‌شود:

$$(N_I)_{60} = N_{SPT} \cdot C_N \cdot C_E \quad (7)$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_V}\right)^{0.5}, 0.5 < C_N < 2 \quad (8)$$

$$C_E = \frac{ER}{60} \quad (9)$$

در روابط فوق، (N_{SPT}) عدد مقاومت نفوذ استاندارد، ($(N_I)_{60}$) عدد مقاومت نفوذ استاندارد اصلاح شده، (C_N) ضریب اصلاح تنش مؤثر سربار، (ER) درصد انرژی و (σ'_V) تنش مؤثر در عمق مورد مطالعه که عدد در آنجا اندازه‌گیری شده است، می‌باشد. مقدار نسبت مقاومت تناوبی توده خاک (CRR) بر حسب عدد مقاومت نفوذ استاندارد اصلاح شده ($(N_I)_{60}$) به دست می‌آید که با نمودار شکل (۳)، مورد استفاده در روش *NCEER*، مشابه است. بر اساس نظر آیین‌نامه مذکور، در ساختمانهایی که دارای پی سطحی هستند، اگر لایه‌های ماسه‌ای اشباع در عمق پایین‌تر از ۱۵ متر نسبت به سطح زمین قرار داشته باشند، می‌توان از ارزیابی پتانسیل روانگرایی صرف‌نظر کرد. همچنین در صورتی که شرایط محلی $\alpha \cdot S < 0.15$ باشد و حداقل یکی از موارد زیر برقرار باشد، نیز می‌توان از ارزیابی پتانسیل روانگرایی چشم‌پوشی نمود [۱]:

الف- میزان رس موجود در ماسه بیشتر از ۲۰٪ بوده و

شاخص پلاستیسیته (PI) از ۱۰ بزرگتر باشد.

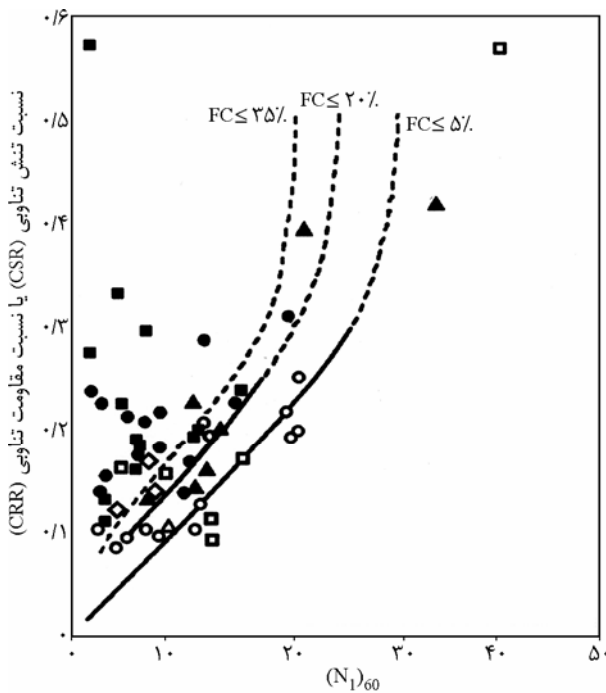
ب- میزان لای موجود در ماسه‌ها بیشتر از ۳۵٪ بوده و

عدد مقاومت نفوذ استاندارد اصلاح شده ($(N_I)_{60}$) از

۲۰ بزرگتر باشد.

ج- برای ماسه تمیز که مقدار عدد مقاومت نفوذ اصلاح

شده ($(N_I)_{60}$) از ۳۰ بزرگتر باشد.



آیین‌نامه اصلاح شده چینی‌ها (میزان رس = ۰.۵٪)		
روانگرایی	روانگرایی کم	عدم روانگرایی
داده‌های مراجع آمریکایی	◊	◻
داده‌های ژاپنی‌ها	●	○
داده‌های چینی‌ها	▲	△

شکل (۳): تعیین میزان نسبت مقاومت تناوبی با استفاده از عدد مقاومت نفوذ استاندارد اصلاح شده ($(N_I)_{60}$) [۵].

روش *NCEER*، برای تعیین نسبت مقاومت تناوبی (CRR) در توده خاک از نتایج آزمون مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) استفاده می‌نماید. در این آیین‌نامه بر اساس تحقیقات انجام شده توسط اسکمپتون [۹] و لیائو و ویتمن [۱۰] در سال ۱۹۸۶، به هنگام اصلاح عدد مقاومت نفوذ استاندارد (N_{SPT})، علاوه بر در نظر گرفتن فاکتور تنش مؤثر سربار (C_N)، بایستی اثر پارامترهای دیگری همچون قطر گمانه (C_B)، طول میله (C_R)، روش نمونه‌گیری (C_S) و نوع سیستم چکش-سندان و نحوه سقوط چکش (C_E) مطابق جدول (۳) و رابطه (۱۰) در نظر گرفته شود:

$$(N_I)_{60} = N \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_R \quad (10)$$

در جدول (۳) و رابطه (۱۰)، (C_N) ضریب اصلاح تنش مؤثر سربار ($C_N = \left(\frac{Pa}{\sigma'_V}\right)^{0.5}$)، (C_B) ضریب اصلاح قطر گمانه، (C_R) ضریب اصلاح طول میله، (C_S) ضریب اصلاح نمونه‌گیری و (C_E) ضریب اصلاح انرژی رابطه (۹)، می‌باشد.

جدول (۳): ضرائب عددی عدد $SPT (N_1)_{60}$ [۹].

عوامل	مشخصات تجهیزات	علامت	ضریب اصلاح
فشار سربار مؤثر		C_N	$C_N \leq 2$
انرژی	چکش دونات چکش ایمن چکش <i>Trip</i>	C_E	۱-۰/۵ ۱/۲-۰/۷ ۱/۳-۰/۸
قطر گمانه	۱۱۵-۶۵ میلیمتر ۱۵۰ میلیمتر ۲۰۰ میلیمتر	C_B	۱ ۱/۰۵ ۱/۱۵
طول میله	۴-۳ متر ۶-۴ متر ۱۰-۶ متر ۳۰-۱۰ متر بزرگتر از ۳۰ متر	C_R	۰/۷۵ ۰/۸۵ ۰/۹۵ ۱ کوچکتر از ۱
قاشق نمونه برداری	استاندارد نوع آمریکایی با پوشش داخلی	C_S	۱ ۱/۳-۱/۱

(۱۲ الف) $\alpha = 0, FC \leq 5\%$

(۱۲ ب) $\alpha = \exp\left[1.76 - \left(\frac{190}{FC^2}\right)\right], 5\% < FC < 35\%$

(۱۲ ج) $\alpha = 5, FC \geq 35\%$

(۱۳ الف) $\beta = 1, FC \leq 5\%$

(۱۳ ب) $\beta = \left[0.99 + \left(\frac{FC^{1.5}}{1000}\right)\right], 5\% < FC < 35\%$

(۱۳ ج) $\beta = 1.2, FC \geq 35\%$

مطالعات آزمایشگاهی ارزیابی پتانسیل روانگرایی نشان داده است که با افزایش عمق و نتیجتاً افزایش میزان تنش مؤثر همه جانبه، مقدار مقاومت تناوبی افزایش می یابد. در روش *NCEER* بر پایه تحقیقات مختلفی که توسط سید در سال ۱۹۸۳ [۱۱]، هاینس و اولسن در سال ۱۹۹۹ [۱۲] و سید و هارد در سال ۱۹۹۰ [۱۳] انجام شده، پیشنهاد گردیده که مقدار *CRR* برای تنش های مؤثر بزرگتر از ۱۰۰ کیلوپاسکال بر حسب تراکم نسبی خاک مطابق شکل (۴) یا روابط (۱۴) و (۱۵) اصلاح گردد:

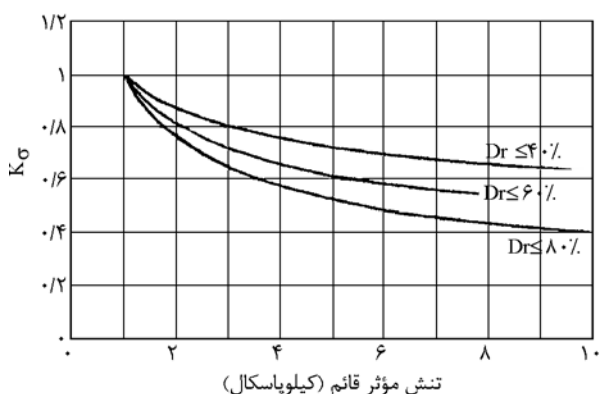
(۱۴) $CRR_f = K_\sigma CRR$

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

(۱۵) $f = 0.8, D_r \leq 40\%$

$f = 0.7, D_r = 60\%$

$f = 0.6, D_r \geq 80\%$



شکل (۴): تعیین پارامتر K_σ بر حسب تنش مؤثر و تراکم نسبی [۱۲].

در روابط (۱۴) و (۱۵)، (CRR_f) نسبت مقاومت تناوبی اصلاح شده توده خاک، (CRR) نسبت مقاومت تناوبی برآورد شده توده خاک، (K_σ) ضریب اصلاح نسبت

برای نمونه گیری های بدون پوشش، C_S در حدود $1 + \frac{(N_1)_{60}}{100}$ در نظر گرفته می شود. پس از تعیین میزان عدد مقاومت نفوذ اصلاح شده $(N_1)_{60}$ ، با استفاده از نمودار شکل (۳) مقدار نسبت مقاومت تناوبی توده خاک (CRR) در بزرگای زلزله ۷/۵ برآورد می شود. شایان ذکر است که نمودار مورد استفاده در آیین نامه *Eurocode 8* نیز با این نمودار مشابه است.

چنانکه در نمودار شکل (۳) ملاحظه می شود، CRR تابعی از درصد ریزدانه است. در این شکل می توان به جای استفاده از نمودارهای مربوط به درصد ریزدانه های مختلف، فقط از نمودارهای مربوط به ماسه تمیز استفاده نمود. در این حالت، ابتدا باید $(N_1)_{60}$ معادل ماسه تمیز $(N_1)_{60CS}$ برای خاکهای دارای درصد ریزدانه تعیین شود. در روش *NCEER*، رابطه ذیل بدین منظور پیشنهاد شده است:

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

در رابطه (۱۱)، $(N_1)_{60CS}$ عدد مقاومت نفوذ استاندارد اصلاح شده ماسه تمیز، $(N_1)_{60}$ عدد مقاومت نفوذ استاندارد اصلاح شده ماسه لای دار و (α, β) ضرائب عددی ثابت می باشند که با استفاده از روابط (۱۲) و (۱۳) تعیین می شوند.

تابعی از عمق لایه مورد مطالعه بوده و برحسب متر می‌باشد. میزان خطرپذیری هر منطقه بر اساس مقادیر P_L (بین صفر تا ۱۰۰ تغییر می‌کند)، مطابق جدول (۴) قابل تعیین است.

جدول (۴): تعیین میزان خطر روانگرایی [۱۴].

خطر روانگرایی و تمهیدات مورد نیاز	P_L
خطر روانگرایی خیلی کم است و عموماً نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق نمی‌باشد.	$P_L=0$
خطر روانگرایی کم است، با این حال نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای سازه‌های مهم می‌باشد.	$0 < P_L < 5$
خطر روانگرایی زیاد است و نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای انواع سازه‌ها می‌باشد. استفاده از روشهای کاهش مخاطرات روانگرایی معمولاً ضرورت دارد.	$5 < P_L < 15$
خطر روانگرایی خیلی زیاد است و نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق می‌باشد. استفاده از روشهای کاهش مخاطرات روانگرایی ضروری است.	$P_L > 15$

۷- مقایسه نتایج حاصل از دو روش

در این بخش، سه گمانه حفر شده در جنوب شرقی تهران که مربوط به یک ناحیه هستند، به منظور مقایسه نتایج ارزیابی پتانسیل روانگرایی حاصل از دو روش آیین‌نامه اتحادیه اروپا Eurocode 8 [۱] و کمیته ملی تحقیقات مهندسی زلزله آمریکا NCEER [۲]، انتخاب شده است. لایه‌بندی و مشخصات پروفیل خاک در سه گمانه مذکور در جدول (۵) ملاحظه می‌شود. نوع دستگاه حفاری گمانه‌ها از نوع اتوماتیک و قطر آنها ۱۵۰ میلیمتر و به عمق ۲۰ متر می‌باشند. نمونه‌گیری از خاک با استفاده از قاشق استاندارد صورت گرفته و طول میله حفاری ۳ متر می‌باشد. ضرائب اصلاحی عدد مقاومت نفوذ استاندارد مطابق جدول (۶) می‌باشد. ضریب اصلاح عدد SPT ، بر حسب تنش مؤثر (C_N) با استفاده از رابطه (۸) در عمقهای مورد مطالعه در گمانه‌ها برای هر دو روش محاسبه شده است. میزان CRR برای دو روش مذکور با استفاده از نمودار شکل (۳) برآورد شده است. در انتها میزان CRR در روش NCEER با استفاده از رابطه (۱۴) اصلاح شده است.

در این تحقیق، تحلیل گمانه‌ها در سه بزرگای زلزله ۵/۵، ۶/۵ و ۷/۵ صورت گرفته است. با توجه به اینکه فاکتور مقیاس بزرگای زلزله در NCEER بر حسب بزرگای زلزله (M_W) ارائه شده است، بنابراین با استفاده از رابطه (۲۰) مقادیر M_S به M_W تبدیل شده‌اند. سپس با استفاده از

مقاومت تناوبی، $(\sigma_{T'})$ تنش مؤثر قائم در عمق مورد مطالعه، فشار اتمسفر (۱۰۰ کیلوپاسکال) و (F) پارامتری است که بر حسب تراکم نسبی تغییر می‌کند.

۵- برآورد ضریب ایمنی (F_s)

در دو روش ذکر شده، از مقایسه میان تنش‌های برشی ایجاد شده توسط زلزله (CSR) با تنش‌های برشی مورد نیاز برای ایجاد روانگرایی (CRR) ، می‌توان نتیجه گرفت که احتمال وقوع روانگرایی در قسمتهایی از نهشته که در آنها تنش‌های ایجاد شده بیش از تنش‌های مورد نیاز برای ایجاد روانگرایی است، وجود دارد. ضریب اطمینان با استفاده از رابطه (۱۶) قابل بیان است:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} \quad (16)$$

بر اساس رابطه فوق اگر $F_L < 1$ باشد، در آن احتمال وقوع روانگرایی وجود دارد و اگر مقدار $F_L > 1$ باشد، در آن صورت روانگرایی به وقوع نخواهد پیوست.

۶- شاخص پتانسیل روانگرایی

اثرات مخرب روانگرایی در سطح زمین برای سازه‌های موجود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا امکان دارد لایه‌ای در اعماق دچار روانگرایی شود ولی تغییر محسوسی در سطح زمین نمایان نشده و خساراتی به سازه‌ها و تأسیسات موجود در سطح زمین وارد نگردد. محققین مختلف روشهای متعددی را برای ارزیابی میزان خرابی در سطح، ارائه نموده‌اند که یکی از متداول‌ترین آنها روش ایواساکی و همکاران در سال ۱۹۷۸ می‌باشد [۱۴]. ایواساکی و همکاران شدت وقوع روانگرایی در یک محل را با پارامتری بنام شاخص پتانسیل روانگرایی (P_L) ، به شرح زیر بیان نموده‌اند:

$$P_L = \int_0^{20} F(Z) \cdot W(Z) \cdot dz \quad (17)$$

$$F(Z) = 1 - F_L \quad (18)$$

$$W(Z) = 10 - 0.5 Z \quad (19)$$

در روابط فوق، $F(Z)$ مقدار ضریب اطمینان خاک در مقابل روانگرایی در عمق Z می‌باشد (در صورتی که $F_L > 1$ باشد، $F(Z) = 0$ خواهد بود) و $W(Z)$ یک ضریب وزنی و

رابطه (۶)، فاکتور مقیاس بزرگای زلزله محاسبه شده است. [۱۵] و مقدار *CSR* برای دو روش مذکور با استفاده از میزان حداکثر شتاب سطحی بر اساس مطالعات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله انتخاب شده است. روابط (۱) و (۳) به دست آمده است. خلاصه نتایج تحلیل گمانه‌ها در جدول (۷) و نمودارهای شکل (۵) آمده است.

جدول (۵): مشخصات ژئوتکنیکی سه گمانه مورد مطالعه.

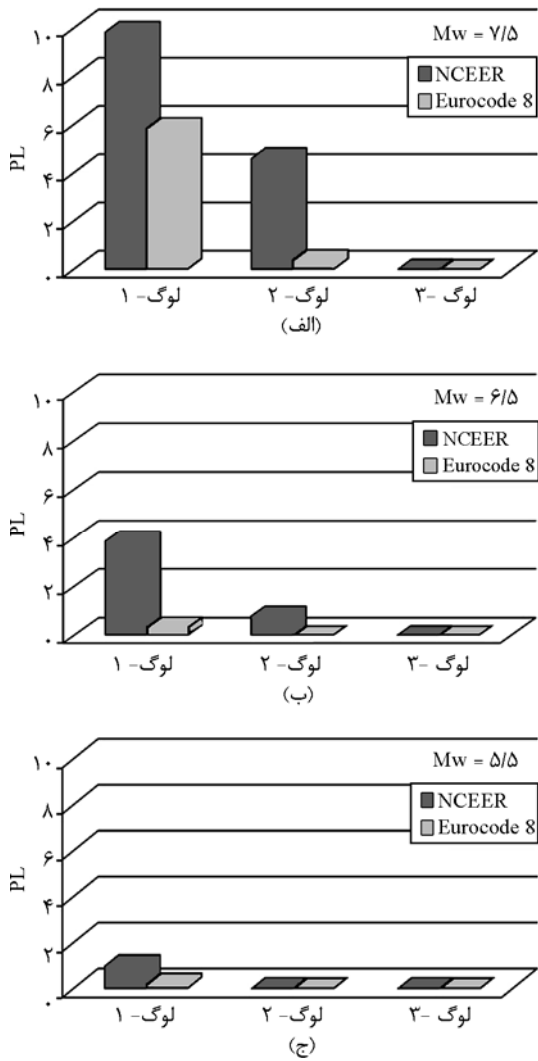
گمانه شماره ۱			گمانه شماره ۲			گمانه شماره ۳		
عمق آب زیرزمینی = ۹ متر			عمق آب زیرزمینی = ۹ متر			عمق آب زیرزمینی = ۹ متر		
N_{SPT}	نوع خاک	ضخامت (m)	N_{SPT}	نوع خاک	ضخامت (m)	N_{SPT}	نوع خاک	ضخامت (m)
	دست خورده	۳		دست خورده	۲		دست خورده	۲
۲۰	<i>SM</i>	۳	۱۵	<i>ML-SM</i>	۳	۴۲	<i>GW</i>	۲
۲۳	<i>ML</i>	۲	۱۸	<i>ML</i>	۱	۵۳	<i>SM</i>	۲
۲۸	<i>SM</i>	۵	۱۵	<i>ML-SM</i>	۴	۷۰	<i>GW</i>	۲
			۱۵	<i>ML-SM</i>	۴	۴۶	<i>GM</i>	۳
۲۰	<i>SM</i>	۵	۱۹	<i>SM-ML</i>	۳	۴۰	<i>GM</i>	۳
			۳۰	<i>SM-ML</i>	۳	۴۰	<i>GM</i>	۳
۲۵	<i>SM-ML</i>	۷	۴۰	<i>SM</i>	۲	۳۷	<i>GP</i>	۲
			۴۰	<i>SM-ML</i>	۲	۵۰	<i>SM-ML</i>	۲
			۳۷	<i>SM</i>	۳	۶۰	<i>SM-ML</i>	۲
			۳۷	<i>SM</i>	۳	۶۵	<i>SW</i>	۲
۴۳	<i>SM-ML</i>	۷	۳۷	<i>SM</i>	۳	۵۵	<i>SM-ML</i>	۳
			۳۷	<i>SM</i>	۳	۵۰	<i>SM-ML</i>	۳

جدول (۶): ضرائب اصلاحی عدد مقاومت نفوذ استاندارد.

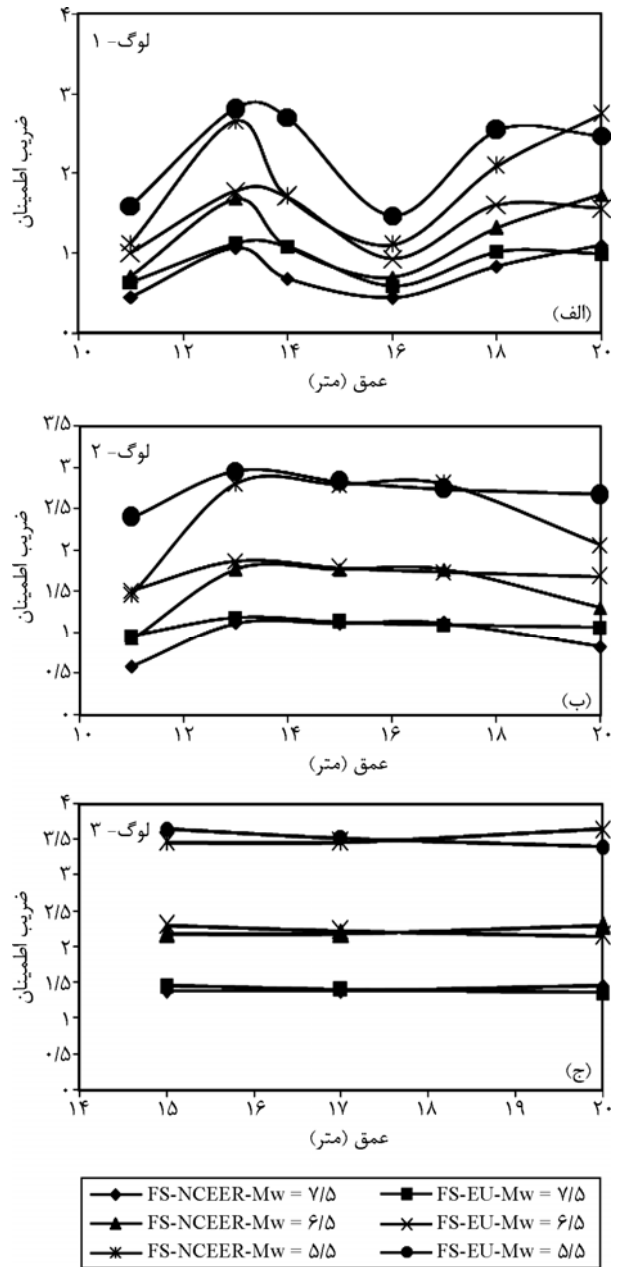
C_B	C_S	C_R	C_E
۱/۰۵	۱	۰/۷۵	۱/۱۶

جدول (۷): مقایسه نتایج ارزیابی نسبت مقاومت و تنش تناوبی در آیین‌نامه‌های *NCEER* و *Eurocode 8* در گمانه‌های ۱ تا ۳.

<i>NCEER</i>				<i>Eurocode 8</i>				رده‌بندی	عمق (متر)	شتاب حداکثر سطحی (a_{max})	عمق آب (متر)	شماره گمانه
<i>CSR</i>			CRR_J	<i>CSR</i>			CRR					
$Mw=5/5$	$Mw=6/5$	$Mw=7/5$		$Mw=5/5$	$Mw=6/5$	$Mw=7/5$						
۰/۱۹	۰/۳۰	۰/۴۳	۰/۱۹	۰/۲	۰/۳۰	۰/۴۴	۰/۲۸	<i>SM</i>	۱۱	۰/۵۵g	۹	۱
۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۲	۰/۳۰	۰/۴۴	۰/۱۵	<i>SM</i>	۱۳			
۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۴۱	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۳۲	۰/۴۶	۰/۱۵	<i>SM-ML</i>	۱۴			
۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۴	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۴۸	۰/۲۸	<i>SM-ML</i>	۱۶			
۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۳۸	۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۴۹	۰/۱۵	<i>SM-ML</i>	۱۸			
۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۳۶	۰/۴	۰/۲۳	۰/۳۵	۰/۵	۰/۱۵	<i>SM-ML</i>	۲۰			
۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۴	۰/۳۸	<i>SM-ML</i>	۱۱	۰/۵۵g	۹	۲
۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۴۴	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۱۵	<i>SM-ML</i>	۱۳			
۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۳۸	۰/۴۳	۰/۲	۰/۳۰	۰/۴۴	۰/۱۵	<i>SM</i>	۱۵			
۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۲۰	۰/۳۲	۰/۴۵	۰/۱۵	<i>SM-ML</i>	۱۷			
۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۳۲	۰/۴۷	۰/۱۵	<i>SM</i>	۲۰			
۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۴	۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۳۴	۰/۱۵	<i>SM-ML</i>	۱۵			
۰/۱۳	۰/۲	۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۳۵	۰/۱۵	<i>SW</i>	۱۷	۰/۴۵g	۱۱	۳
۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۳۸	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۱۵	<i>SM-ML</i>	۲۰			



شکل (۶): مقایسه مقادیر شاخص پتانسیل روانگرایی (P_L) در سه گمانه در بزرگهای ۷/۵، ۶/۵ و ۵/۵ در دو روش NCEER و Eurocode 8.



شکل (۵): مقایسه مقادیر ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی خاکها در سه گمانه حاصل از دو روش NCEER و Eurocode 8.

$Eurocode 8$ که برای در نظر گرفتن اثر عدم صلبیت در ارزیابی پتانسیل روانگرایی مطابق جدول (۱) پارامتر S را معرفی می‌نماید که در محدوده خیلی کم تغییر می‌کند. در صورتی که $NCEER$ برای اثر دادن ترکهای ناشی از زلزله در خاک، پارامتر r_d را ارائه می‌نماید که در بازه بزرگتری تغییر می‌کند. ۲- مقادیر نسبت مقاومت تناوبی (CRR) حاصل از آیین‌نامه اتحادیه اروپا در مقایسه با $NCEER$ بزرگتر می‌باشند. این مسئله از آنجا ناشی می‌شود که آیین‌نامه اتحادیه اروپا برای تعیین عدد مقاومت نفوذ استاندارد اصلاح شده $((N_1)_{60})$ تنها اثر دو پارامتر تنش مؤثر و انرژی (نوع چکش - سندان) را

پس از محاسبه ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی در سه گمانه مورد مطالعه با استفاده از دو روش مذکور، میزان شاخص پتانسیل روانگرایی (P_L) با استفاده از رابطه (۱۷) برآورد شده که نتایج بدست آمده در نمودارهای شکل (۶) قابل مشاهده می‌باشد.

$$M_W = 6.888 \ln(M_S) - 6.537 \quad (20)$$

با مشاهده جدول (۷) و شکل‌های (۵) و (۶) می‌توان به این موارد اشاره نمود:
۱- مقادیر نسبت تنش تناوبی (CSR) حاصل از روش

کمتری را از لحاظ اثرات فیزیکی زلزله و مشخصات ژئوتکنیکی در نظر می‌گیرد از دقت کمتری برخوردار است.

ج- میزان اختلاف شاخص پتانسیل روانگرایی گمانه‌ها (P_L) در دو روش مورد مقایسه با ازدیاد بزرگای زلزله افزایش می‌یابد. این روند صعودی در آیین‌نامه Eurocode 8 کمتر است.

۹- مراجع

1. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance-part 5: foundation, retaining structures and geotechnical aspects. Final Draft, PREN, 1998-5.
2. Youd, T.L. and Idriss, I.M. (2001). Liquefaction resistance of soils, Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils.
3. Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982). Ground motion and soil liquefaction during earthquakes, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California, 134p.
4. Kramer, S.L. (1996). Geotechnical earthquake engineering, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 653p.
5. Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., and Chung, R.M. (1985). The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations, *J. of Geotechnical Engineering*, **111**(12), 1425-1445.
6. Robertson, P.K. and Wride, C.E. (1998). Evaluation cyclic liquefaction potential using the cone penetration test, *Canadian Geotechnical Journal*, **35**(3), 442-459.
7. Andrus, R.D., Chung, R.M., Juang, C.H., and Stokoe, K.H. (2003). Guidelines for evaluating liquefaction resistance using shear wave velocity measurement and simplified procedure, GCR 03-854, NIST.
8. Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971). Simplified

در نظر می‌گیرد. در حالی که *NCEER* علاوه بر دو پارامتر مذکور، اثر قاشق نمونه‌گیری، طول میله و قطر گمانه را نیز در نظر می‌گیرد.

۳- مقادیر ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی خاکهای بدست آمده با روش آیین‌نامه اتحادیه اروپا در مقایسه *NCEER* تا حدی بزرگتر می‌باشند.

۴- میزان اختلاف شاخص پتانسیل روانگرایی گمانه‌ها (P_L)، با افزایش بزرگای زلزله افزایش می‌یابد. برای مثال چنان که در شکل (۵) ملاحظه می‌شود، شاخص پتانسیل روانگرایی در بزرگاهای ۵/۵، ۶/۵ و ۷/۵ در گمانه ۱ با استفاده از روش *NCEER* به ترتیب ۵، ۱۱ و ۱/۶۸ برابر مقادیر مذکور در روش *Eurocode 8* است.

با در نظر گرفتن موارد فوق چنین بنظر می‌رسد که نتایج آیین‌نامه اتحادیه اروپا به دلیل آن که پارامترهای کمتری را از لحاظ اثرات فیزیکی زلزله و مشخصات ژئوتکنیکی در نظر می‌گیرد، بنابراین از دقت کمتری برخوردار باشد.

۸- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، دو روش آیین‌نامه اتحادیه اروپا (*Eurocode 8*) و کمیته ملی تحقیقات مهندسی زلزله آمریکا (*NCEER*) که بر پایه نتایج آزمون صحرایی مقاومت نفوذ استاندارد می‌باشند، معرفی شده و کاربرد آنها در سه گمانه حفاری شده در جنوب شرقی تهران مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در تحلیل نتایج مشاهده شده است که غالباً مقادیر ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی خاکها در روش *Eurocode 8* در مقایسه با *NCEER* بزرگتر می‌باشند. با افزایش عمق، مقادیر حاصل از دو روش به یکدیگر نزدیکتر و در حالاتی معدود، نتایج روش *NCEER* بزرگتر می‌شود. بنابراین می‌توان گفت:

الف- بر اساس بند ۲ بخش ۷، روش ارائه شده توسط *NCEER* نسبت به *Eurocode 8* در ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاکها محافظه‌کارانه‌تر می‌باشد و پدیده وقوع روانگرایی را بهتر پیش‌بینی می‌نماید.
ب- روش *Eurocode 8*، به دلیل آنکه پارامترهای

- Soil Liquefaction*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 145-152.
13. Seed, H.B. and Harder, L.F.Jr. (1990). SPT-based analysis of cyclic pore pressure generation and untrained residual strength, *Proc. H. Bolton Seed Memorial Symp. BiTech Publisher Ltd.*, Vancouver, 351-376.
 14. Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K., and Yasuda, S. (1978). A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan, *2nd International Conference on Microzonation for Safer Construction Research and Application*, San Francisco, USA.
 15. جعفری، محمدکاظم (۱۳۸۰). *مطالعات تکمیلی ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای جنوب تهران، برنامه ملی تحقیقات [گزارش نهایی]*، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
9. Skempton, A.W. (1986). Standard penetration test procedure and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and over consolidation, *Journal of Geotechnique*, **36**(3), 425-447.
 10. Liao, S. and Whitman, R.V. (1986). Overburden correction factors for SPT in sand, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, **112**(3), 373-377.
 11. Seed, H.B. (1983). Earthquake-resistance design of earth dams, *Proc., Symp., Seismic Design of Earth Dam and Caverns, ASCE*, **97**(9), 1249-1273.
 12. Hynes, M.E. and Olsen, R.S. (1999). Influence of confining stress on liquefaction resistance, *Proc. Int. Workshop on Phys. and Mechanic of*