

# بررسی ضرایب اصلاح در روابط روانگرایی خاک های غیر چسبنده

عبدالحسین حداد<sup>۱</sup>، یحیی شربتی ناوان<sup>۲</sup>، محمد بزازی<sup>۳</sup>

۱- عبدالحسین حداد، [ahadad@semnan.ac.ir](mailto:ahadad@semnan.ac.ir)

۲- یحیی شربتی ناوان، [ysharbat@gmail.com](mailto:ysharbat@gmail.com)

## چکیده

پدیده روانگرایی (Liquefaction) در خاک های غیر چسبنده اشباع در شرایط زهکشی نشده تحت اغتشاشات گذرا، یکنواخت و یا تکراری رخ می دهد. در اثر بارگذاری در شرایط زهکشی نشده تمایل به تراکم، موجب افزایش فشار آب حفره ای گشته و در نتیجه تنش موثر کاهش می یابد. در ارزیابی روانگرایی این نوع خاک ها برای محاسبه تنش های ناشی از زلزله و همچنین نتایج آزمایشات صحرایی از یک سری ضرایب اصلاح استفاده می شود. این ضرایب شامل ضریب کاهش تنش ( $r_d$ )، ضریب مقیاس بزرگی زلزله برای نسبت تنش سیکلی (MSF)، ضریب اصلاحی سربار برای تنش سیکلی ( $k_\sigma$ ) و ضریب نرمال سازی سربار برای مقاومت های نفوذ ( $C_N$ ) می باشد. این ضرایب با استفاده از اطلاعات موجود آزمایشات SPT و CPT که توسط ادریس (Idriss) و همکاران ارائه شده، مورد بررسی قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: روانگرایی، SPT، CPT، تنش سیکلی

## مقدمه

یکی از علل خرابیها در خلال زلزله پدیده روانگرایی می باشد. این پدیده در خاک های غیر چسبنده اشباع در شرایط زهکشی نشده تحت اغتشاشات گذرا، یکنواخت و یا تکراری رخ می دهد. در اثر بارگذاری در شرایط زهکشی نشده تمایل به تراکم، موجب افزایش فشار آب حفره ای گشته و در نتیجه تنش موثر کاهش می یابد. هنگامی که خاک به این حالت در می آید، سازه های بنا شده در روی آن به راحتی داخل زمین فرو می روند [۳].

مهمترین عواملی که بر روان شدن خاک های غیر چسبنده تأثیر قابل ملاحظه ای دارند، به قرار زیر می باشد [۲].

- نوع خاک
- دانسیته نسبی یا تخلخل خاک
- فشار محدودکننده اولیه
- شدت و مدت لرزش حرکات زمین در خلال یک لرزه

در ارزیابی روانگرایی خاک غیر چسبنده از یک سری ضرایب در چارچوب های تحلیلی استفاده می گردد. این ضرایب شامل ضریب کاهش تنش ( $r_d$ )، ضریب مقیاس بزرگی زلزله برای نسبت تنش سیکلی (MSF)، ضریب اصلاحی سربار برای تنش سیکلی ( $k_\sigma$ ) و ضریب نرمالیزه سربار برای مقاومت های نفوذپذیری ( $C_N$ ) می باشد. در این مقاله ابتدا هریک از پارامترها و روابط جدید آنها مورد بررسی قرار می گیرد. نهایتاً تأثیر روابط جدید در ارزیابی دوباره تاریخچه صحرایی و در استنتاج روابط تجدید نظر شده روانگرایی بر اساس SPT, CPT برای تعیین حدود روانگرایی در نظر گرفته شده و با محدوده های قبلی مقایسه می گردد.

<sup>۱</sup> استادیار دانشگاه سمنان

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- زلزله دانشگاه سمنان

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه دانشگاه سمنان

روابط مورد استفاده در بحث روانگرایی

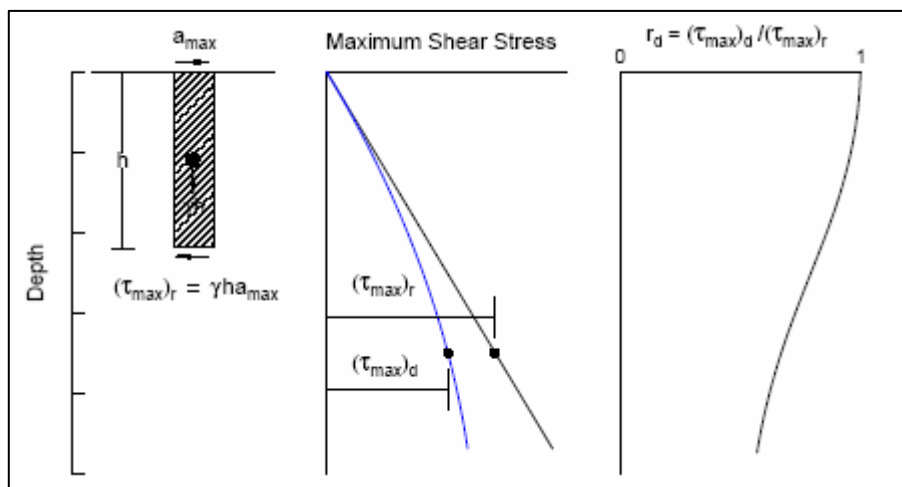
در ابتدا مرور مختصری بر روابط مورد استفاده در بحث روانگرایی انجام می گیرد. هر یک از این روابط شامل ضرایب اصلاح  $c_N$ ،  $k_G$ ،  $MSF$ ،  $r_d$  باشند. در زیر این روابط شرح داده شده است. [۱]

محاسبه نسبت تنش برشی سیکل ناشی از زلزله (cyclic shear stress)

تنش های برشی ایجاد شده در اثر زلزله در هر نقطه از خاک به علت انتشار امواج برشی از عمق به طرف لایه های فوقانی گسترش می یابد. روش سید و ادریس برای تخمین نسبت تنش برشی سیکل ناشی از زلزله در عمق  $Z$  با استفاده از رابطه زیر قابل بیان است:

$$CSR = 0.65 \left( \frac{\sigma_{v_0} a_{max}}{\sigma'_{v_0}} \right) r_d \quad (1)$$

که در آن  $a_{max}$  حداکثر شتاب افقی در سطح زمین،  $\sigma_{v_0}$  تنش قائم کل،  $\sigma'_{v_0}$  تنش قائم مؤثر در عمق  $Z$  و پارامتر  $r_d$  ضریب کاهش تنش با در نظرگیری ستون خاک به صورت انعطاف پذیر می باشد. منحنی تغییرات شماتیک  $r_d$  در شکل ۱ نشان داده شده است. ضریب ۰.۶۵ برای تبدیل نسبت تنش برشی سیکلی حداکثر به نسبت تنش برشی سیکلی که بیشترین سیکل های مهم در طول بارگذاری را شامل می شود.



شکل ۱- منحنی تغییرات شماتیک محاسبه تنش برشی حداکثر،  $\tau_{max}$  و ضریب کاهش تنش  $r_d$

اصلاح تعداد سیکل های تنشی برای زلزله های مختلف

برای تعیین  $CSR$  مربوط به زلزله ای با بزرگای مشخص به طور معمول از  $CSR$  مربوط به زلزله ای مشخص استفاده می گردد. به عنوان مثال  $(CSR)_{M=7.5}$  به عنوان مبنای استفاده می گردد. بنابراین  $(CSR)_{M=7.5}$  به صورت زیر تعریف می گردد:

$$(CSR)_{M=7.5} = \frac{CSR}{MSF} = 0.65 \left( \frac{\sigma_{v_0} a_{max}}{\sigma'_{v_0}} \right) \frac{r_d}{MSF} \quad (2)$$

تعداد ضربات  $SPT$  و مقاومت نوک  $CPT$  به عنوان شاخصی در ارزیابی روانگرایی

سید و همکاران مقاومت نرمال شده در ماسه را با  $\sigma'_{v_0}$  معادل یک اتمسفر در نظر گرفتند. هدف از این نرمال سازی بدست آوردن مقداری بی بعد و مستقل از  $\sigma'_{v_0}$  بوده است. این نرمال سازی به صورت زیر می باشد:

$$(N_1)_{60} = C_N N_{60} \quad (3)$$

$$q_{c1} = C_N q_c \quad (4)$$

تأثیر شیب زمین و اثر سربار بر مقاومت سیکلی

سید پیشنهاد نموده که اثر تنش برشی اولیه و فشارهای موثر جانبی برای اصلاح نسبت تنش سیکلی به صورت زیر در نظر گرفته شود:

$$CRR = CRR_{\sigma=1, \alpha=0} \cdot K_{\sigma} \cdot K_{\alpha}$$

که در آن  $K_{\sigma}$  ضریب اصلاح سربار و  $K_{\alpha}$  ضریب اصلاح تنش برشی استاتیکی می باشد.

ضریب کاهش تنش  $r_d$

سید و ادريس ضریب کاهش تنش را به عنوان پارامتری که بیانگر تنش سیکلی در خاک انعطاف پذیر به تنش سیکلی در خاک صلب می باشد، معرفی کردند، که در شکل ۱ نشان داده شد. آنها یک منحنی میانگین تا عمق ۴۰ فوت در سال ۱۹۷۱ ارائه دادند، که برای بزرگهای مختلف زلزله و همه پروفیل ها بود. ادريس و گل سرخی بالغ بر چندصد آنالیز پارامتریک سایت را انجام دادند و با در نظرگیری شرایط عملی، پارامتر  $r_d$  را بر حسب عمق و بزرگی زلزله بدست آوردند [۱]. روابط زیر نتایج کار آنها بوده است:  
برای عمق کمتر از ۳۴ متر:

$$\ln(r_d) = \alpha(z) + \beta(z)M \quad (۶-الف)$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.26 \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right) \quad (۶-ب)$$

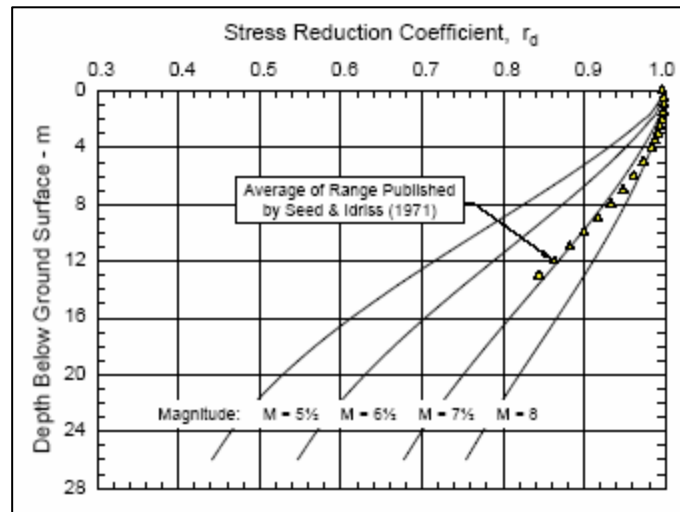
$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right) \quad (۶-ج)$$

برای عمق بیشتر از ۳۴ متر:

$$r_d = 0.12 \exp(0.22M) \quad (۶-د)$$

در شکل ۲ منحنی تغییرات  $r_d$  و منحنی میانگین سید و ادريس نشان داده شده است.

پیشنهاد شده است در استفاده از مقادیر  $r_d$  نه تنها عمق و بزرگی زلزله در نظر گرفته شود، بلکه سطح تکان و میانگین موج برشی در اعماق بیشتر از ۴۰ فوت در نظر گرفته شود.



شکل ۲- منحنی تغییرات ضریب کاهش تنش بر حسب عمق و بزرگی زلزله

ضریب مقیاس بزرگی MSF

ضریب مقیاس بزرگی برای تبدیل CSR مربوط به بزرگی زلزله ای با  $M$  نسبت به CSR معادل برای بزرگی زلزله  $M = 7.5$ ، استفاده می گردد. بنابراین، MSF به صورت زیر قابل بیان است:

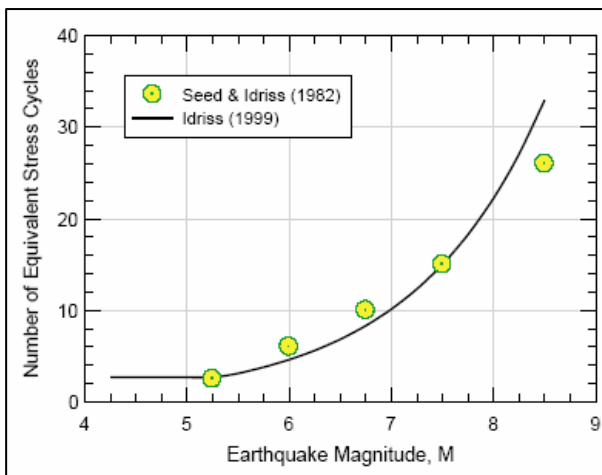
$$MSF = \frac{CSR_M}{CSR_{M=7.5}} \quad (۷)$$

بنابراین این ضریب، معرف تقریبی از اثرات طول تکان یا تعداد سیکل های تنش معادل می باشد. مقادیر ضریب مقیاس بزرگی با ترکیب: (۱) رابطه بین تعداد سیکل های یکنواخت معادل بر حسب بزرگی و (۲) رابطه های آزمایشگاهی بین نسبت تنش های سیکلی مورد نیاز که باعث روانگرایی می شوند و تعداد سیکل های تنش یکنواخت، بدست می آیند [۳].

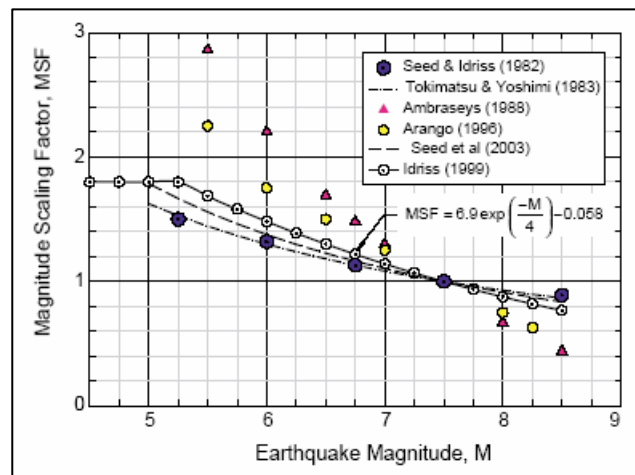
روش های مختلفی برای تبدیل سری های زمانی نامنظم به تعداد سیکل های یکنواخت معادل وجود دارد. با استفاده از رابطه بین CRR (یا CSR) مورد نیاز جهت روانگرایی و تعداد سیکل های یکنواخت، امکان تبدیل سری نامنظم زمانی به یک تعداد سیکل تنش یکنواخت را فراهم می کند [۲]. در شکل ۳ روابط ارزیابی شده جدید برای تعداد سیکل های تنش یکنواخت معادل بر حسب بزرگی زلزله نشان داده شده است که دارای تفاوت اندکی نسبت به سید و ادريس در سال ۱۹۸۲ دارد. روابط ارزیابی شده با استفاده از اطلاعات قبلی و مطالعات آزمایشگاهی بر روی نمونه های باکیفیت یخ زده به صورت زیر می باشد:

$$MSF = 6.9 \exp\left(-\frac{M}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8 \quad (۸)$$

منحنی تغییرات MSF بر حسب بزرگی در شکل ۴ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد این روابط نسبت به روابط قبلی دارای مقادیر بزرگتری می باشد.



شکل ۳- تعداد سیکل های معادل بر حسب بزرگی زلزله



شکل ۴- ضریب مقیاس بزرگی، به وسیله تحقیقات مختلف

ضریب اصلاح سربار  $K_\sigma$

تأثیر سربار بر CRR اخیراً توسط بالنجر و سید مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این ارزیابی مجدد با استفاده از پارامتر  $\bar{K}_R$  که در شکل ۵ نشان داده شده است، تأثیر پارامترهای  $D_R$  و  $\sigma_{v'0}$  بر روی CRR در نظر گرفته شده است.  $\bar{K}_R$  از تفاوت  $D_R$  فعلی و  $D_R$  حالت بحرانی (که با  $D_{R,cs}$  نشان داده می شود) برای تنش نرمال میانگین یکسان بدست می آید. در شکل ۵ منحنی حالت بحرانی تجربی از شاخص نسبی بولتون که یک رابطه تجربی با در نظرگیری مفاهیم حالت بحرانی می باشد، بدست می آید. پارامتر Q معرف تنشی می باشد که در آن نمودار حالت بحرانی به سرعت نزول می کند و به عنوان شاخصی از خورد شدگی ذرات می باشد و مقدار آن بستگی به نوع دانه ها دارد [۱].

بررسی های بالنجر نشان می دهد که CRR می تواند به صورت تابع منحصرفرد بر حسب  $\bar{K}_R$  باشد. همچنین تحقیقات ادريس و بالنجر معرف  $\bar{K}_R$  بر حسب مقاومت نفوذ SPT و CPT می باشد. روابط توصیه شده توسط این دو محقق به صورت زیر می باشد:

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln\left(\frac{\sigma'_{v'0}}{P_a}\right) \quad (۹-الف)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 17.3D_R} \leq 0.3 \quad (۹-ب)$$

$$D_R = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{46}} \quad (۱۰)$$

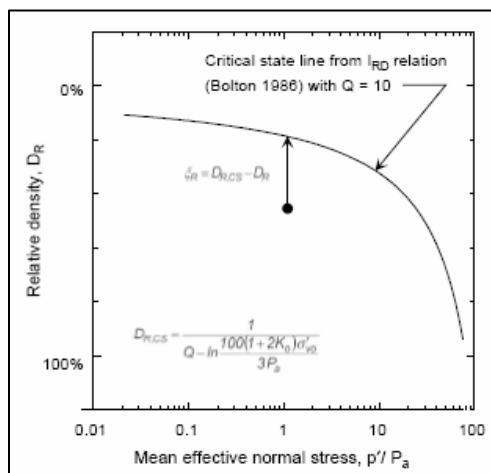
$$D_R = 0.478(q_{C1N})^{0.264} \quad (۱۱)$$

نهایتاً مقدار  $C_\sigma$  بر حسب  $(N_1)_{60}$  و  $q_{C1N}$  قابل بیان است:

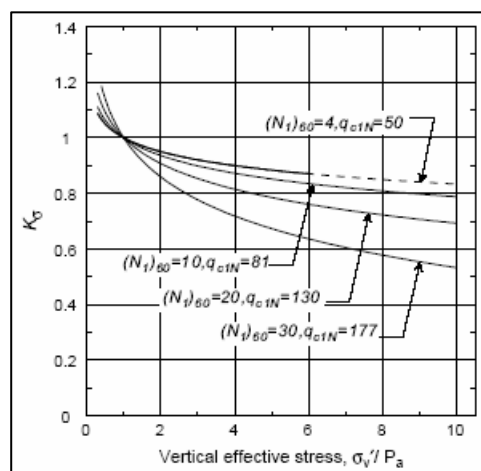
$$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60}}} \quad (12)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{37.3 - 8.27q_{C1N}^{0.264}} \leq 0.3 \quad (13)$$

که در آن  $(N_1)_{60}$  و  $q_{C1N}$  به ترتیب به مقدار حداکثر ۳۷ و ۲۱۱ محدود می گردند. نتایج منحنی های  $K_\sigma$  با استفاده از معادلات فوق بر حسب  $(N_1)_{60}$  و  $q_{C1N}$  در شکل ۶ نشان داده شده است. مقدار  $K_\sigma$  پیشنهادی برای  $\frac{\sigma_{v'0}}{P_a} > 1$  مقادیر بیشتری و برای  $\frac{\sigma_{v'0}}{P_a} < 1$  مقادیر کمتری نسبت به تحقیقات دیگر دارد.



شکل ۵- تعریف شاخص پارامتر حالت



شکل ۶- روابط  $K_\sigma$  منتهجه از  $\xi_R$

نرمال سازی مقاومت نفوذ  $C_N$  مقاومت های نفوذ SPT و CPT معمولاً نسبت به  $\sigma'_{v'0} = 1 \text{ atm}$  نرمال سازی می گردند تا مقادیر بدست آمده تنها با  $D_R$  رابطه داشته باشند. یکی از روابط معمول برای نرمال سازی که توسط لایو و ویتمن پیشنهاد شده است به صورت زیر می باشد:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v'0}}\right)^{0.5} \quad (14)$$

بالنجر اخیراً روابط  $C_N$  را با استفاده از روابط تئوریتیکال و اطلاعات تجربی SPT و CPT را مورد ارزیابی قرار داده است. رابطه  $C_N$  برای CPT به صورت زیر می باشد:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v'0}}\right)^m \quad (15)$$

توان  $m$  به صورت خطی با  $D_R$  رابطه دارد:

$$m = 0.784 - 0.521D_R \quad (16)$$

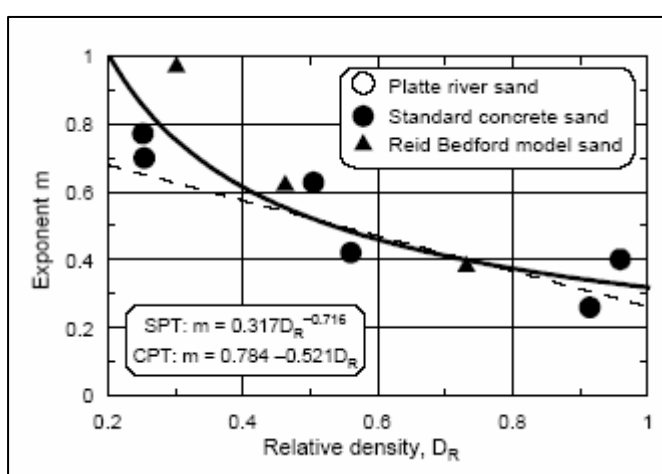
برای SPT بالنجر کارهای مارکیوسن و بیگانسکی را مورد ارزیابی مجدد قرار دارد و روابطی مشابه ۱۹ را بدست آورد که خلاصه نتایج در شکل ۷ مشاهده می گردد [۱]. بالنجر وادریس با استفاده از روابط بالا رابطه  $C_N$  را بر حسب  $(N_1)_{60}$  و  $q_{C1N}$  به شکل زیر بیان کردند:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}}\right)^\alpha \leq 1.7 \quad \alpha = 0.784 + 0.0768\sqrt{(N_1)_{60}} \quad (17)$$

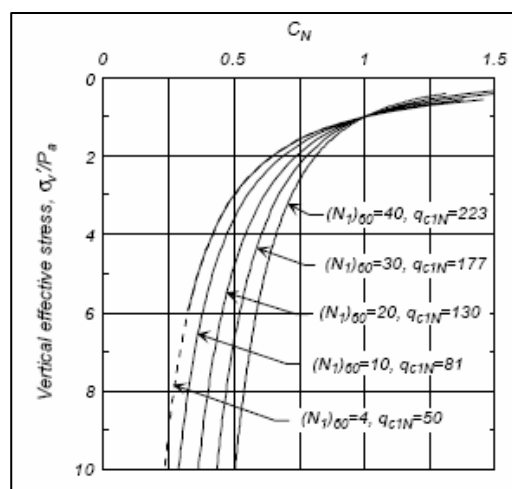
$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}}\right)^\beta \leq 1.7 \quad \alpha = 1.338 + 0.249(q_{c1N})^{0.264} \quad (18)$$

که  $(N_1)_{60}$  و  $q_{c1N}$  به ترتیب به ۴۶ و ۲۵۴ محدود می‌گردد. با توجه به رابطه بالا هنگامی که  $\sigma'_{v0}$  کم باشد مقدار  $C_N$  به سمت بی نهایت میل می‌کند، در نتیجه مقدار حداکثری برای  $C_N$  باید مشخص گردد. با توجه به اطلاعات مناطقی که در آنها روانگرایی رخ داده است، مقدار  $C_N$  به ۱٫۷ محدود می‌گردد [۱].

در شکل ۸ نمودار تغییرات  $C_N$  رسم گردیده است که در آن  $D_R$  با افزایش عمق، افزایش می‌یابد. مقدار  $C_N$  و  $(N_1)_{60}$  به هم وابسته بوده و باید به صورت همزمان حل گردند.



شکل ۷- تغییرات  $m$  بر حسب  $D_R$



شکل ۸- تغییرات  $C_N$  منتهی از معادلات ۱۷ و ۱۸

ارزیابی محدوده های روانگرایی با استفاده از آزمایشات SPT و CPT

برای تعیین محدوده های روانگرایی در آزمایش SPT مقادیر CSR و  $(N_1)_{60}$  با استفاده از روابط اصلاحی  $MSF$ ،  $\Gamma_d$  و  $K_\sigma$ ،  $C_N$  محاسبه می‌گردد. شکل کلی منحنی  $(N_1)_{60}$ -CRR در محدوده های بالای  $(N_1)_{60}$  با توجه به ملاحظات تئوریتیکالی و تجربی بدست می‌آیند. چون در این محدوده اطلاعات کافی در مورد وقوع روانگرایی و عدم وقوع روانگرایی وجود ندارد. معمولاً در این محدوده ها از روش های احتمالاتی و ترکیب با یافته های تئوری و تجربی استفاده می‌گردد. باید توجه داشت آزمایش SPT یک آزمایش دینامیکی در شرایط عدم زهکشی زیاد می باشد، بنابراین انتظار می رود که برای این آزمایشات در ماسه شل مقدار فشار آب منفذی تا حد زیادی افزایش یابد، در حالیکه در ماسه متراکم به احتمال زیاد فشار آب منفذی منفی افزاینده وجود داشته باشد [۱].

با در نظرگیری ملاحظات بالا روابط تجدید نظر شده برای  $(N_1)_{60}$ -CRR در شکل های ۹ تا ۱۳ نشان داده شده است. شکل ۹ مقایسه بین منحنی پیشنهادی و منحنی قبلی برای درصد ریزدانه بیشتر از ۵٪ می باشد. همان طور که مشاهده می‌گردد در محدوده  $25 \leq (N_1)_{60} \leq 8$  منحنی ها به هم نزدیک بوده و خارج از این محدوده با هم اختلاف دارند. در شکل ۱۰ محدوده روانگرایی برای  $FC \geq 35\%$  رسم گردیده است. همان طور که مشاهده می‌گردد این محدوده بالاتر از ۵٪  $FC \geq$  قرار دارد. همچنین منحنی پیشنهادی توسط NEER(1997) با منحنی منتهی مقایسه گردیده است که نشان دهنده غیرمحافظة کارانه بودن این منحنی می باشد. در شکل ۱۱ محدوده روانگرایی برای  $15\% \leq FC \leq 5\%$  و در شکل ۱۲ برای  $FC < 15\%$  رسم گردیده است. توجه شود که این منحنی ها برای بزرگای  $M = 7 \frac{1}{2}$  و تنش قائم موثر  $\sigma'_{v0} = 1atm$  می باشد [۱].

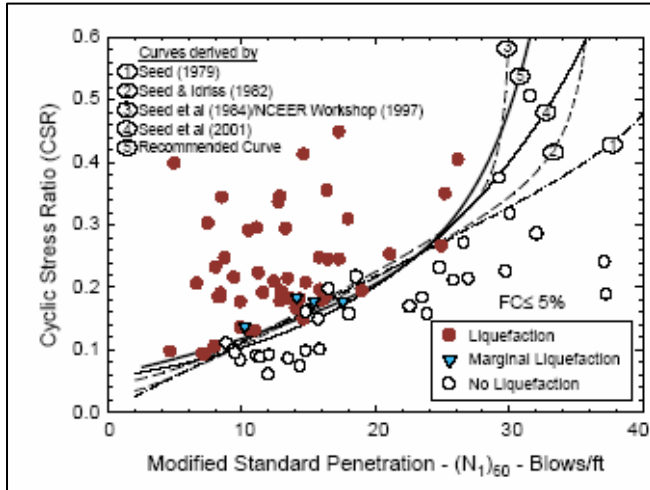
منحنی بدست آمده برای خاک های غیرچسبنده با استفاده از معادلات زیر بدست می‌آیند. ابتدا مقاومت های نفوذ با توجه به مقدار ریزدانه اصلاح می‌شوند:

$$(N_1)_{60CS} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \quad (19)$$

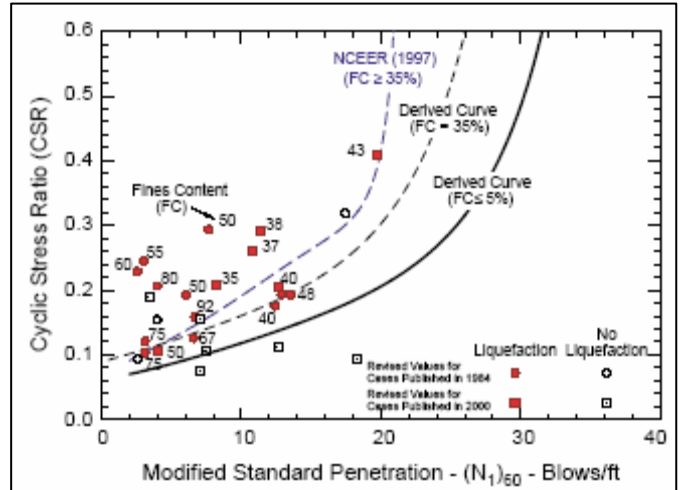
تغییرات  $\Delta(N_1)_{60}$  بر حسب ریزدانه در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

مقدار CRR برای زلزله ای با بزرگی  $M = 7\frac{1}{2}$  و تنش قائم موثر  $\sigma'_{vo} = 1 \text{ atm}$  می توان بر حسب  $(N_1)_{60CS}$  با استفاده از معادله زیر بدست آید:

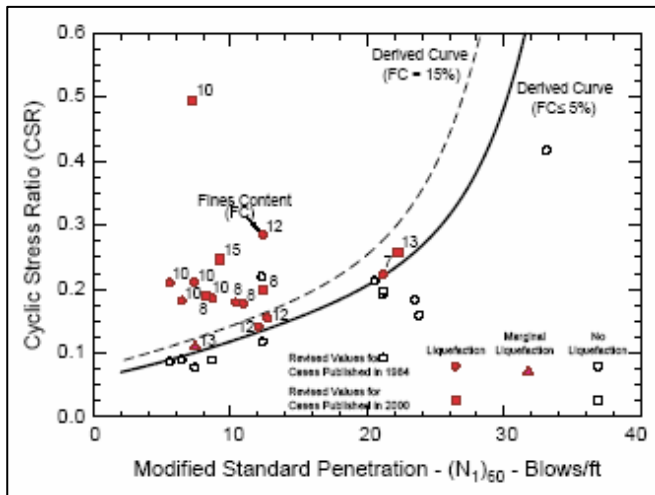
$$CRR = \exp \left\{ \frac{(N_1)_{60CS}}{14.1} + \left( \frac{(N_1)_{60CS}}{126} \right)^2 - \left( \frac{(N_1)_{60CS}}{23.6} \right)^3 + \left( \frac{(N_1)_{60CS}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right\} \quad (20)$$



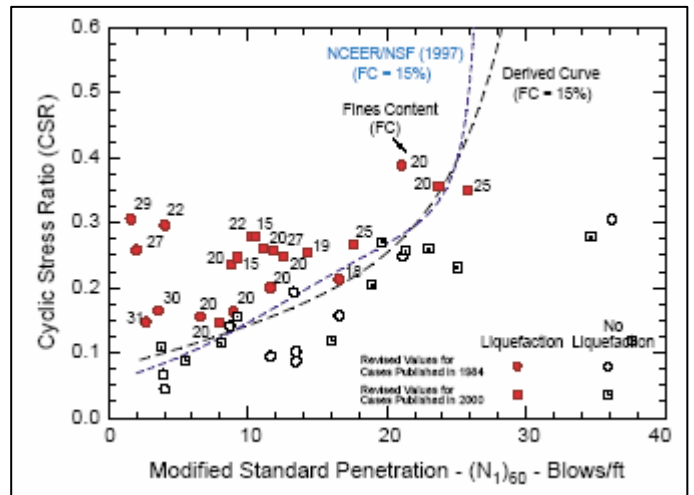
شکل ۹- منحنی های تغییرات  $(N_1)_{60}$ -CRR در ۲۴ سال گذشته و منحنی پیشنهادی برای بزرگی  $M = 7\frac{1}{2}$  و تنش قائم موثر  $\sigma'_{vo} = 1 \text{ atm}$



شکل ۱۰- تاریخچه SPT در خاکهای غیرچسبیده در  $F_C \geq 5\%$  برای بزرگی  $M = 7\frac{1}{2}$  و تنش قائم موثر  $\sigma'_{vo} = 1 \text{ atm}$



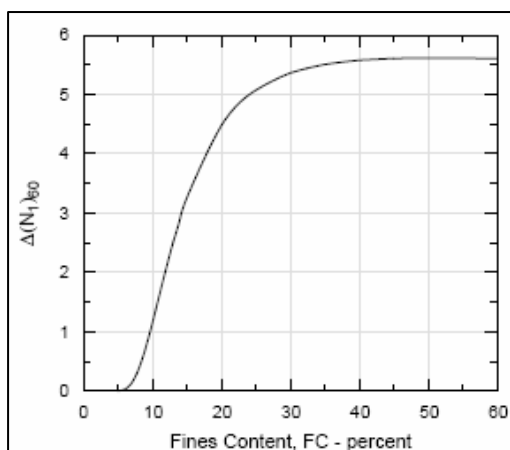
شکل ۱۱- تاریخچه SPT در خاکهای غیرچسبیده در  $5\% \leq F_C \leq 15\%$  برای بزرگی  $M = 7\frac{1}{2}$  و تنش قائم موثر  $\sigma'_{vo} = 1 \text{ atm}$



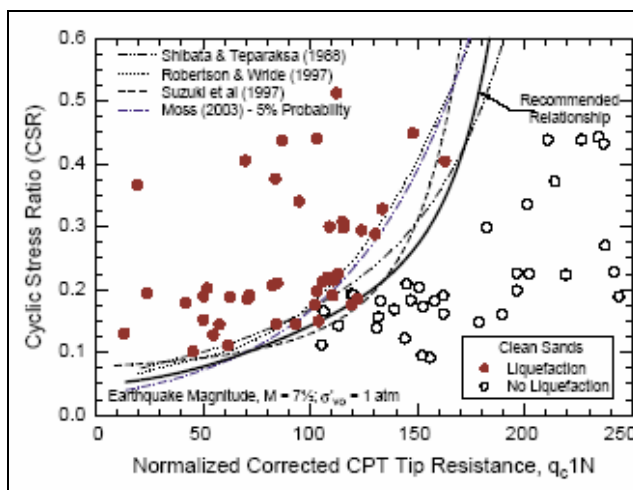
شکل ۱۲- تاریخچه SPT در خاکهای غیرچسبیده در  $15\% \leq F_C \leq 35\%$  برای بزرگی  $M = 7\frac{1}{2}$  و تنش قائم موثر  $\sigma'_{vo} = 1 \text{ atm}$

ارزیابی روابط CPT با استفاده از اصلاحات و پارامترهای تجدید نظر شده مانند آنچه که برای SPT گفته شد انجام می گیرد. در شکل ۱۴ نمونه ای از نتایج تعیین محدوده روانگرایی با استفاده از CPT نشان داده شده است، که در این حالت CRR به شکل زیر می باشد:

$$CRR = \exp \left\{ \frac{q_{CIN}}{540} + \left( \frac{q_{CIN}}{67} \right)^2 - \left( \frac{q_{CIN}}{60} \right)^3 + \left( \frac{q_{CIN}}{114} \right)^4 - 3 \right\} \quad (21)$$



شکل ۱۳- تغییرات  $\Delta(N_1)_{60}$  بر حسب مقدار ریزدانه



شکل ۱۴- تاریخچه CPT برای ماسه تمیز بوسیله محققین مختلف

باید توجه نمود که نمونه گیری مستقیم به عنوان اولین روش برای محاسبه ویژگیهای خاک در اهداف ارزیابی روانگرایی می باشد. استفاده از اطلاعات SPT و CPT به تنهایی برای محاسبه ممکن است منجر به نتایج نامعتبر در بسیاری از موارد شود، بویژه وقتی که خاک در محدوده ماسه لای دار و رس لای دار باشد [۳].

#### نتیجه گیری

با توجه به ارزیابی ادريس و همکاران با استفاده از روش تحلیلی، داده های لرزه ای و سوابق آزمایش های صحرایی نتایج زیر را برای ضرایب اصلاح می توان استنتاج کرد:

- ۱- مقدار ضریب کاهش تنش که با توجه به عمق و بزرگای زلزله تغییر می کند، در حالیکه در گذشته یک مقدار میانگین برای تمام بزرگای زلزله در نظر گرفته می شد.
- ۲- ضریب مقیاس بزرگی که به تعداد سیکل های یکنواخت، بزرگای زلزله و نسبت تنش سیکلی مقاوم (CRR) بستگی دارد نسبت به روابط قبلی دارای مقادیر بزرگتری می باشد و با افزایش بزرگا کاهش می یابد.
- ۳- ضریب اصلاح سربار تابعی از تراکم نسبی خاک محل بوده و با افزایش تنش موثر قائم مقدار آن کاهش می یابد.
- ۴- ضریب نرمال سازی برای آزمایشات صحرایی SPT و CPT نیز تابعی از تراکم نسبی محل بوده و با افزایش تنش موثر قائم مقدار آن کاهش می یابد.
- ۵- با افزایش درصد مقدار ریزدانه در لایه ها با توجه به اطلاعات، سوابق وقوع روانگرایی و عدم وقوع روانگرایی، احتمال وقوع روانگرایی در خاک های غیرچسبنده کاهش می یابد.

#### منابع

[1] I.M. Idriss, R.W. Boulanger, Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 26 (2006) 115–130.

[2] دینامیک خاک، میرحسینی، مجدالدین، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

[3] مهندسی زئوتکنیک لرزه ای، S.L.kramer، ترجمه: میرحسینی، مجدالدین و عارفپور، بابک، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله