

تأثیر ریزدانه غیر چسبنده بر مقاومت روانگرایی ماسه ها

تدوین: محمد کاظم جعفری، استادیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک پژوهشگاه
علی شفیع، دانشجوی دکترای ژئوتکنیک لرزه ای پژوهشگاه

۱- چکیده

نی‌ئی گاتای (*Niigata*) ژاپن مطالعه بر روی وقوع روانگرایی در خاکهای دانه ای آغاز گردید. در این راستا، مطالعات بعدی بر روی ارزیابی پتانسیل روانگرایی در ماسه های سست اشباع که دارای مقدار کمی ریزدانه بودند، متمرکز گردید. با وقوع زلزله های جدید و افزایش اطلاعات مشخص گردید که روانگرایی در خاکهای دانه ای اشباع دارای مقدار قابل توجهی ریزدانه غیرچسبنده (ذرات کوچکتر از $75 \mu m$) نیز به وقوع می پیوندد (زوو [۱] و ترونکاسو و وردوگو [۲]). با این وجود، به علت پیچیدگی ارزیابی تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر روی پتانسیل روانگرایی ماسه ها تاکنون مطالعات گسترده ای در این زمینه انجام نشده است.

مروری بر تحقیقات گذشته در زمینه تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر روی رفتار ماسه ها مبین این مطلب است که محققین مختلف مقاومت استاتیکی (مقاومت حالت پایدار) و مقاومت دینامیکی (مقاومت تناوبی) را به پارامترهای مختلفی مانند نسبت تخلخل کلی (e)، نسبت تخلخل بین دانه ای (e_s)، تراکم نسبی (D_r) و یا عدد CPT و SPT (در مطالعات صحرایی) مرتبط نموده اند.

در این مقاله سعی شده که با مروری بر مهمترین مطالعات آزمایشگاهی (آزمایشهای استاتیکی و دینامیکی) و صحرایی انجام شده، تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر مقاومت روانگرایی ماسه ها ارزیابی گردد.

۳- تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر روی رفتار استاتیکی ماسه ها

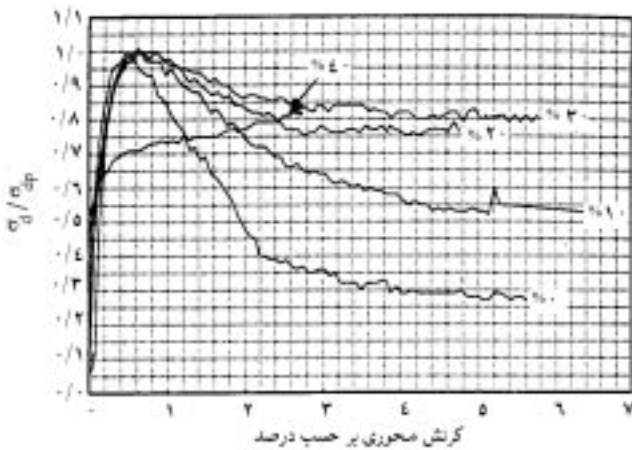
پژوهشگران تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر روی رفتار استاتیکی ماسه ها را از دو دیدگاه مورد بررسی قرار داده اند. این دو دیدگاه عبارتند از:
- تأثیر ریزدانه ها بر مقاومت حالت پایدار ماسه ها (پولوس [۳])؛

مشاهدات به دست آمده از زلزله های اخیر نشان می دهد که مصالح مخلوطی مانند ماسه های سیلت دار، سیلت های ماسه دار و حتی ماسه های شن دار نیز روانگرا می شوند. با این وجود، به علت پیچیدگی ارزیابی تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر روی پتانسیل روانگرایی ماسه ها تاکنون مطالعات گسترده ای انجام نشده است؛ اگرچه، مطالعات انجام یافته بر تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر پتانسیل روانگرایی استاتیکی و دینامیکی ماسه ها نتایج متناقضی را به همراه داشته است. وجود این تناقض در نتایج، عمدتاً به دلیل انتخاب پارامترهای کنترل کننده مانند نسبت تخلخل کلی (e)، نسبت تخلخل بین دانه ای (e_s)، تراکم نسبی (D_r) و یا عدد CPT و SPT برای مقایسه رفتار ترکیبات مختلف ماسه و سیلت است.

در مورد نتایج به دست آمده از مطالعات صحرایی به دلیل اینکه اطلاعات دقیقی از پارامترها و شرایط خاک محل مانند تراکم نسبی، نسبت تخلخل، تأثیر سیمانته شدن (*Cementation*) و تاریخچه تنش (*Stress History*) در دسترس نیست، نمی توان اظهار نظر قطعی نمود. همچنین مقاومت در برابر روانگرایی ترکیب ماسه- سیلت علاوه بر درصد ریزدانه ها وابسته به بافت تشکیل شده نیز می باشد. هنگامی که درصد ریزدانه های موجود کم باشد و ریزدانه ها تنها نقش پرکننده حفره های بین دانه های ماسه را داشته باشند آنگاه وجود ریزدانه ها تأثیر چندانی در مقاومت روانگرایی نخواهد داشت؛ اما، اگر نحوه پخش ذرات ریزدانه ها به گونه ای باشد که بعضی از آنها در حد فاصل دانه های ماسه قرار گیرند آن گاه اسکلت ناپایدارتری نسبت به اسکلت اولیه ماسه تمیز تشکیل شده و در نتیجه مقاومت روانگرایی کاهش می یابد.

۲- مقدمه

پس از مشاهده تخریبهای ایجاد شده بر اثر زلزله سال ۱۹۶۴



شکل (۲): نمودار σ_d / σ_v بر حسب ϵ_a [۶]

(Strain Softening) کاهش یافته است؛ اگرچه، همه منحنی ها تا حداکثر تنش برشی تقریباً مسیر یکسانی را طی می کنند. همچنین وجود رفتار خمیری (Ductile) برای نمونه دارای ۴۰ درصد ریزدانه مبین این مطلب است که رفتار به وسیله ریزدانه ها تعیین می شود. همان طور که در شکلها مشاهده می گردد نقطه اوج مشخصی در منحنی مربوط به ۴۰ درصد ریزدانه دیده نمی شود. به طوری که تنش انحرافی مدام صعود کرده و نهایتاً در کرنشهای بالا به مقدار ثابتی می رسد. مطالعات انجام شده توسط میکروسکوپ الکترونی نیز مشخص نمود که در نمونه دارای ۲۰ درصد ریزدانه، هنوز دانه های ماسه با هم در تماس بوده و ریزدانه ها تنها فضای خالی بین دانه های ماسه را پر می کنند؛ اما، در نمونه دارای ۴۰ درصد ریزدانه، دانه های ماسه در مجموعه ای از ذرات سیلت شناور می باشند.

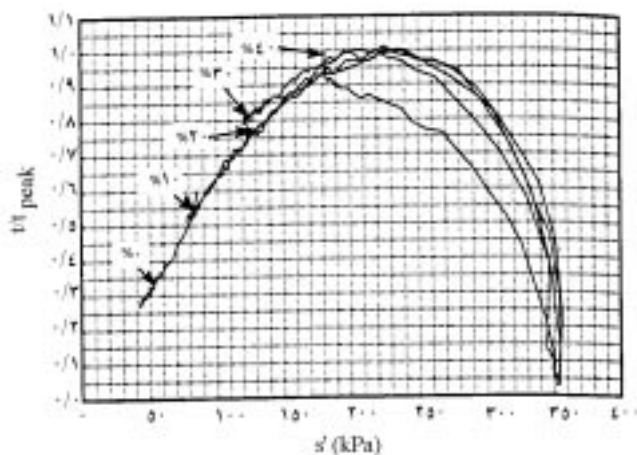
ادامه تحقیقات بر روی ترکیب ماسه- سیلت آشکار نمود که افزایش ریزدانه به کاهش مقاومت روانگرایی منجر می گردد. توانایاگام و همکاران [۷] برای تعیین تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر مقاومت حالت پایدار (S_{US}) آزمایشهایی بر نمونه های ماسه ای (SP و SM) دارای حداکثر ۱۲ درصد ریزدانه، ماسه سیلت دار (SM) دارای ۱۲ تا ۳۲ درصد ریزدانه و سیلت ماسه دار (ML) دارای بیش از ۵۰ درصد ریزدانه انجام دادند. شکلهای (۳، الف) و (۳، ب) به ترتیب بیانگر تغییرات مقاومت حالت پایدار (S_{US}) بر حسب تراکم نسبی (D_r) در ماسه های تمیز و ماسه های دارای ریزدانه می باشد. مطابق این شکلها ماسه های نسبتاً تمیز دارای بیشترین مقاومت و ماسه های سیلت دار دارای مقاومت کمی می باشند؛ بنابراین، با افزایش ریزدانه مقاومت حالت پایدار کاهش یافته طوری که مقاومت سیلت خالص نیز از ماسه نسبتاً

- تأثیر ریزدانه ها بر رفتار استاتیکی ماسه ها به وسیله ارزیابی تغییرات منحنی های تنش- کرنش و مسیر تنش.

اولین مطالعات در این مورد توسط کوریس و همکاران [۴] انجام شد. در این آزمایشها میزان سیلت افزوده شده به ماسه از صفر تا ۲۲/۳ درصد متغیر بود. نتایج این مطالعات نشان داد که وجود ریزدانه ها در فضای خالی بین دانه های ماسه سبب ایجاد کمی حالت اتساعی (Dilatation) در خاک شده و آن را در برابر روانگرایی مقاوم می سازد. در این آزمایشها نمونه ها به گونه ای تهیه شده اند که نسبت تخلخل بین دانه ای آنها تقریباً یکسان است. این نسبت (e_v) اولین بار توسط میچل [۵] به صورت $(e_v) =$ تعریف گردید.

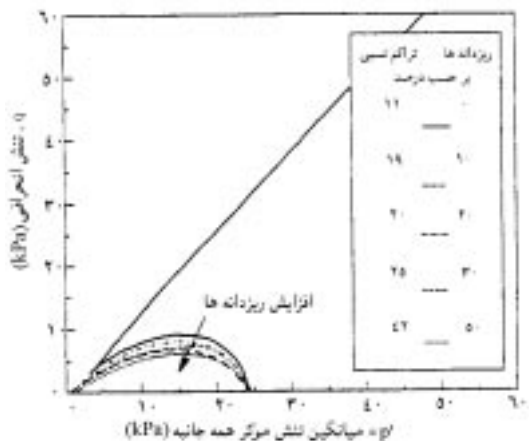
در این تعریف عملاً از تأثیر ریزدانه ها در تراکم خاک صرف نظر می شود.

مطالعات بعدی در مورد رفتار استاتیکی ترکیب ماسه- سیلت توسط پیتمن و همکاران [۶] انجام گردید. در این آزمایشها میزان سیلت افزوده شده به ماسه از صفر تا ۴۰ درصد متغیر بود. شکلهای (۱) و (۲) به ترتیب نشان دهنده مسیر تنش و منحنی های تنش-کرنش محوری (ϵ_a) برای نمونه های آزمایش شده می باشند. در این شکلها $t = \frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{2}$ ، $s' = \frac{(\sigma'_1 + \sigma'_3)}{2}$ به ترتیب تنشهای مؤثر محوری و جانبی و σ_d نیز تنش انحرافی می باشند. در این شکلها به منظور مقایسه بهتر رفتار نمونه های مختلف، مقادیر t و σ_d به ترتیب با حداکثر تنش برشی (t_{peak}) و حداکثر تنش انحرافی (σ_{dp}) هم تراز شده اند. شکلهای (۱) و (۲) کاملاً نشان می دهند که با افزایش ریزدانه تا حداکثر ۳۰ درصد مقدار نرم شدگی کرنش

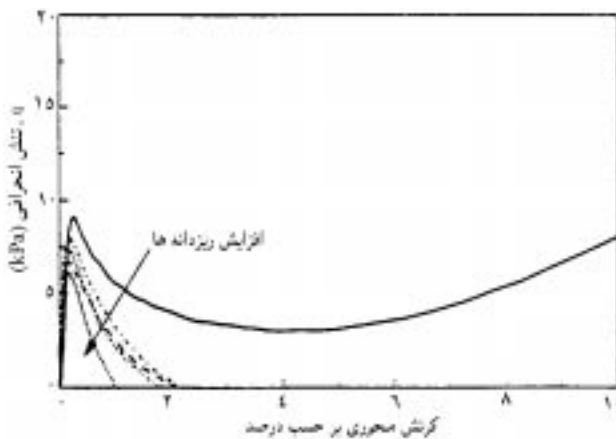


شکل (۱): نمودار t/t_{peak} بر حسب s' [۶]

تنش- کرنش برای ترکیب ماسه نوادا (Nevada) با درصد های مختلفی از سیلت می باشد. در شکل (۴) مشاهده می شود که با افزایش ریزدانه، مسیرهای تنش به سمت پایین حرکت کرده و حداکثر تنش انحرافی (q) نیز کاهش می یابد. شکل (۵) نیز نشان می دهد که افزایش درصد ریزدانه سبب ایجاد کرنشهای محوری کمتری در هنگام وقوع روانگرایی می شود. در این صورت، اگرچه تراکم نسبی و نسبت تخلخل کاهش یافته؛ ولی، پتانسیل روانگرایی افزایش می یابد. به عبارت دیگر، هیچ کدام از پارامترهای تراکم نسبی و نسبت تخلخل نمی توانند به تنهایی به عنوان پارامتری برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی ماسه های سیلت دار به کار روند.



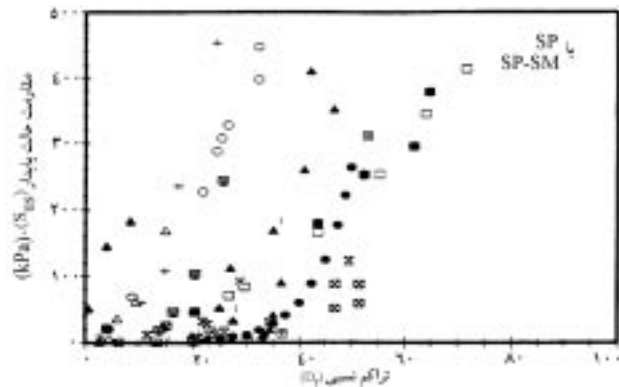
شکل (۴): مسیر تنش برای ترکیب ماسه نوادا با ریزدانه ها [۹]



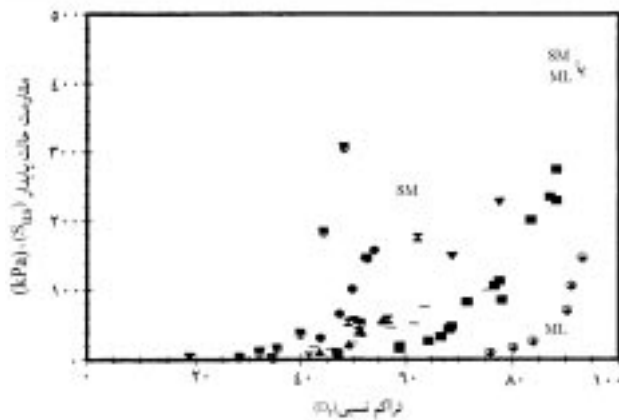
شکل (۵): نمودار تنش- کرنش برای ترکیب ماسه نوادا با ریزدانه ها [۹]

۴- تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر مقاومت تناوبی (Cyclic Strength) ماسه ها

همزمان با آزمایشهای استاتیکی از آزمایشهای دینامیکی نیز برای ارزیابی تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر مقاومت تناوبی ماسه ها استفاده-



شکل (۳، الف): S_{US} بر حسب D_r برای ماسه نسبتاً تمیز [۷]



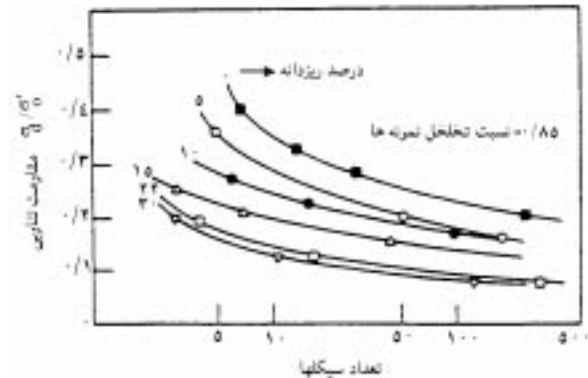
شکل (۳، ب): S_{US} بر حسب D_r برای ماسه های سیلت دار [۷]

تمیز کمتر است. همچنین این شکلهای نمایانگر این امر است که تراکم نسبی نمی تواند به عنوان پارامتری برای تعیین پتانسیل روانگرایی مورد استفاده قرار گیرد؛ زیرا، نمونه های SM و ML دارای تراکم نسبی بیشتری ولی مقاومت حالت پایداری کمتری نسبت به نمونه های SP و $SP-SM$ می باشند.

زلاتوویج و ایشیهارا [۸] نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. آنها به این نتیجه رسیدند که با افزودن سیلت به ماسه تا یک میزان مشخص، مقاومت روانگرایی کاهش یافته و سپس با افزایش بیشتر مقدار سیلت مقاومت نیز افزایش می یابد؛ اما، مقاومت سیلت خالص از ماسه تمیز کمتر است.

لید و یامامورو [۹] نیز تأثیر ریزدانه غیرچسبنده را بر روانگرایی استاتیکی ماسه ها بررسی نمودند. روانگرایی استاتیکی حالتی است که در تنشهای تحکیمی کم رخ داده و به وسیله تولید فشار آب منفذی زیاد و ایجاد شرایط تنش مؤثر صفر در سطوح پایین کرنش محوری مشخص می گردد. در این تحقیق از ترکیب چهار نوع ماسه متفاوت با مقادیر مختلف سیلت (حداکثر ۵۰ درصد) استفاده شده است. شکلهای (۴) و (۵) به ترتیب نمایانگر نمونه ای از مسیر تنش و منحنی های

گردید. نخستین مطالعات توسط چانگ و همکاران [۱۰] انجام شد. در این تحقیق مقدار نسبت تخلخل در تمام نمونه ها ثابت بود. نتایج آزمایشها مشخص کرد که با افزایش میزان سیلت تا ۱۰ درصد، مقاومت تناوبی کمی افزایش می یابد و با افزایش مقدار سیلت تا ۳۰ درصد مقاومت تناوبی بیشتر افزایش می یابد؛ اگرچه، آزمایشهای انجام شده توسط ترونکاسو [۱۱] که در شکل (۶) مشاهده می شود، مشخص کرد که با افزایش سیلت تا مقدار ۳۰ درصد مقاومت تناوبی کاهش می یابد. در این آزمایشها نیز مقدار نسبت تخلخل در تمام نمونه ها

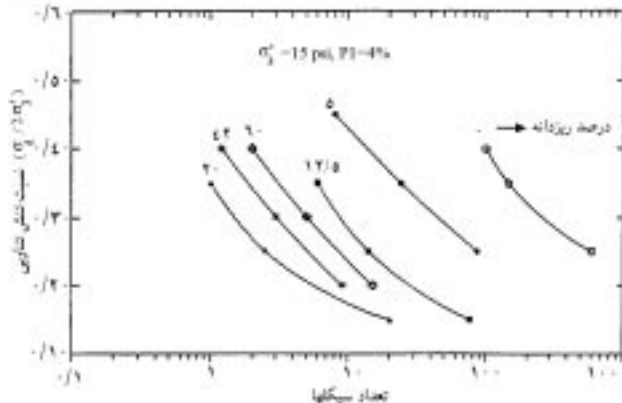


شکل (۶): تغییرات مقاومت تناوبی با ریزدانه ها [۱۱]

ثابت در نظر گرفته شده بود. با این وجود، کوریس و وید [۱۲] معتقدند که در یک مقدار تراکم نسبی ثابت و یا در یک نسبت تخلخل ثابت، با افزایش مقدار سیلت مقاومت تناوبی کاهش می یابد. آنها یادآور می شوند که با افزایش سیلت تا مقدار ۲۰ درصد به دلیل اینکه ذرات سیلت حفره های بین دانه های ماسه را پر می کنند، مقدار نسبت تخلخل بین دانه ای تغییر زیادی نکرده؛ در نتیجه، رفتار زهکشی نشده ماسه ها نیز تغییر چندانی نخواهد کرد. همچنین ایشیهارا و کاسکی [۱۳] معتقدند که وجود ریزدانه غیرچسبنده تأثیر چندانی بر مقاومت روانگرایی ماسه ها نخواهد داشت.

مطالعات اخیر توسط سایر محققین نشان داد که افزودن سیلت به ماسه تا مقدار معینی به کاهش مقاومت تناوبی منجر شده و با افزایش بیشتر سیلت مقاومت تناوبی افزایش می یابد. به عنوان مثال، می توان به آزمایشهای انجام شده توسط کاستر [۱۴] بر روی ترکیبات مختلف ماسه و سیلت در شکل (۷) اشاره نمود. مطابق این شکل بیشترین مقاومت تناوبی مربوط به ماسه متوسط تمیز می باشد و با افزایش سیلت تا مقدار ۲۰ درصد مقاومت کاهش می یابد؛ اما، با افزایش

دوباره مقدار سیلت مقاومت افزایش می یابد. انجام آزمایشهای دیگر توسط کاستر [۱۴] بر روی ترکیب انواع دیگری از ماسه (ماسه خوب دانه بندی شده و ماسه ریز) نیز روند مشابهی را مشخص کرد با این تفاوت که افزایش ۵ درصد ریزدانه، سبب افزایش مقاومت تناوبی گردید



شکل (۷): نمودارهای مقاومت دینامیکی برای ترکیبات مختلف ماسه متوسط با سیلت [۱۴]

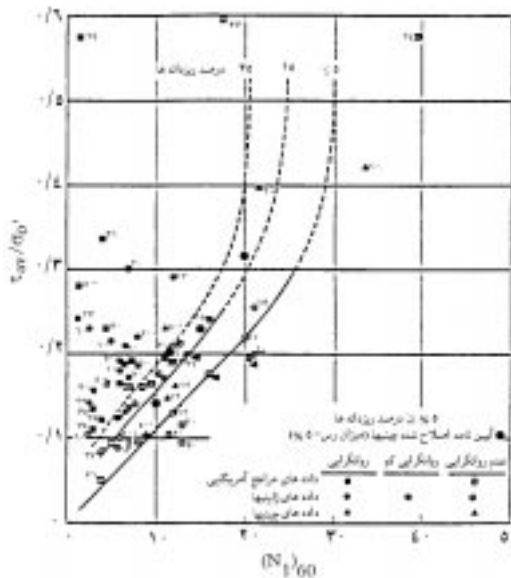
(شکل های ۸ و ۹). شایان ذکر است که در این آزمایشها نمونه ها به طریقی ساخته شدند که نسبت تخلخل در انتهای تحکیم همه آنها برابر نسبت تخلخل ماسه تمیز در تراکم نسبی برابر ۵۰ درصد گردد.

مطالعات انجام شده توسط سینگ [۱۵] نیز نتایج مشابهی را نشان داد (شکل ۱۰). مطابق این شکل با افزایش مقدار سیلت تا حدود ۲۰ درصد، مقاومت تناوبی کاهش و با افزایش بیشتر مقدار سیلت مقاومت نیز افزایش می یابد. طوری که، مقاومت سیلت خالص از ماسه تمیز کمتر است. در این آزمایشها همه نمونه های آزمایش شده دارای تراکم نسبی یکسانی بودند.

۵- مطالعات صحرائی جهت ارزیابی تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر پتانسیل روانگرایی ماسه ها

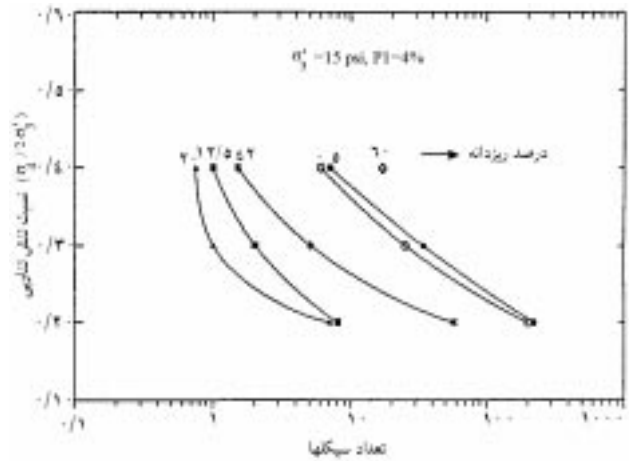
مطالعات اخیر در مورد تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر رفتار استاتیکی و دینامیکی ماسه ها آشکار ساخت که عموماً با افزایش مقدار

[۱۶] مناطقی را که بر اثر زلزله های گذشته روانگرا شده و یا نشده بودند مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعات که در شکل (۱۱) آورده شده است، مشخص نمود که در یک مقدار $(N_1)_{60}$ ، عدد SPT اصلاح شده یکسان، با افزایش ریزدانه مقاومت در برابر روانگرایی $\left(\frac{\tau_{av}}{\sigma_{o'}}$) افزایش می یابد. نمودارهای شکل (۱۱) به طور گسترده در آیین نامه ها و دستورالعملهای مختلف ارائه شده است و هم اکنون مورد استفاده جامعه مهندسی برای برآورد پتانسیل روانگرایی (بر مبنای آزمایشهای صحرایی) است. علاوه بر این، مطالعات انجام شده توسط سید و دی آلبا [۱۷] (بر مبنای آزمایشهای CPT)، تاکیماتسو و یوشیمی [۱۸] و ایشهارا [۱۹] نیز دارای نتایج مشابهی است. با توجه به اینکه مبنای مقایسه مقاومت روانگرایی در مطالعات صحرایی تنها عدد SPT و یا CPT و خصوصیات منحنی دانه بندی خاک محل مانند قطر متوسط دانه ها (D_{50}) است و اطلاعات دقیقی از پارامترهای خاک محل مانند تراکم نسبی، نسبت تخلخل و نیز تأثیر سیماتنه شدن بین دانه ها و تاریخچه تنش [۹] در دسترس نیست. درباره نتایج مطالعات صحرایی نمی توان اظهار نظر قطعی نمود و به نظر می رسد برای اطمینان از نتایج این مطالعات نیاز به انجام تحقیقات گسترده و دقیقتر و در صورت امکان دستیابی به نمونه های دست نخورده از محل و انجام آزمونهای آزمایشگاهی می باشد.

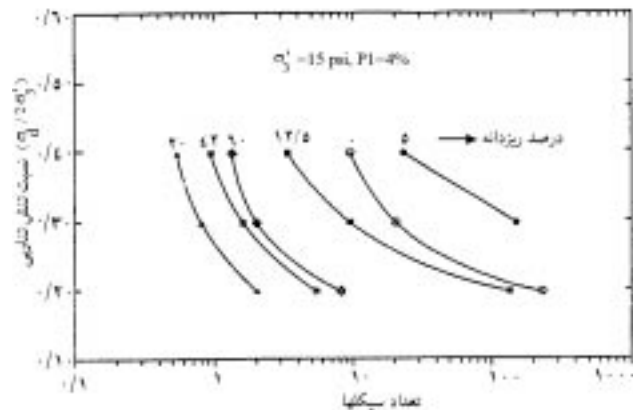


شکل (۱۱): رابطه بین مقاومت روانگرایی و عدد SPT برای ماسه های سیلت دار (در زلزله های با بزرگای $M=7.5$) [۱۶]

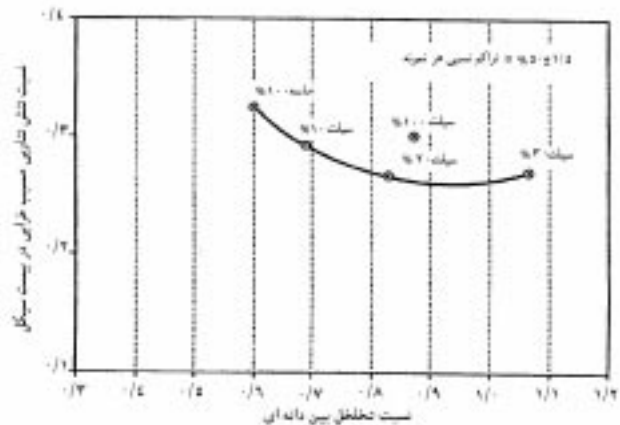
۶- نتیجه گیری



شکل (۸): نمودارهای مقاومت دینامیکی برای ترکیبات مختلف ماسه خوب دانه بندی شده با سیلت [۱۴]



شکل (۹): نمودارهای مقاومت دینامیکی برای ترکیبات مختلف ماسه ریز با سیلت [۱۴]



شکل (۱۰): رابطه بین مقاومت تناوبی و نسبت تخلخل بین دانه ای (e_s) برای درصد های مختلف سیلت [۱۵]

سیلت بین ۲۰ تا ۳۰ درصد پتانسیل روانگرایی افزایش می یابد. در این راستا، مطالعات صحرایی انجام شده (بر مبنای آزمایشهای همچون SPT و CPT) نتایج متناقضی را نشان داد. سید و همکاران

- 3-Poulos, S. J., "The Steady State of Deformation", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 107 (5), PP. 553-562, 1981.
- 4-Kuerbis, R., Negussey, D., and Vaid, Y. P., "Effect of Gradation and Fines Content on the Undrained Response of Sand", In Hydraulic Fill Structures Edited by D. J. A. Van Zyl and S. G. Vick. Geotechnical Special Publication 21, American Society of Civil Engineers, New York, PP. 330-345, 1988.
- 5-Mitchell, J. K., "Fundamentals of Soil Behavior", Wiley, New York, 1976.
- 6-Pitman, T.D., Robertson, P.K., and Segoo, D. C., "Influence of Fines on the Collapse of Loose Sands", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 31, PP. 728-739, 1994.
- 7-Thevanayagam, S., Ravishankar, K., and Mohan, S., "Effects of Fines on Monotonic Undrained Shear Strength of Sandy Soils", Geotechnical Testing Journal, Vol. 20, No. 4, PP. 394-406, 1997.
- 8-Zlatovic, S., and Ishihara, k., "On the Influence of Nonplastic Fines on Residual Strength", Proceedings, First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Tokyo, A.A. Balkema, PP. 239-246, 1995.
- 9-Lade, P. V., and Yamamuro, J. A., "Effects of Nonplastic Fines on Static Liquefaction of Sands", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 34, PP. 918-928, 1997.
- 10-Chang, N.Y., Yeh, S. I., and Kaufman, L. P., "Liquefaction Potential of Clean and Silty Sands", Proceedings, Third International Earthquake Microzonation Conference, Seattle, Washington, Vol. II. PP. 1017-1032, 1982.
- 11-Troncoso, J.H., "Failure Risks of Abandoned Tailing Dams", Proceedings, International Symposium on Safety and Rehabilitation of Tailing Dams, ICOLD, Sydney, Australia, PP. 82-89, 1990.
- 12-Kuerbis, R. H., and Vaid, Y. P., "Undrained Behavior of Clean and Silty Sands", Proceedings of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th Intl. Conf. on Soil Mechanics and Found. Engg. Rio, Brazil, 1989.
- 13-Ishihara, K., and Koseki, J., "Cyclic Shear Strength of Fines Containing Sand", Proc. of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response: 12th Intl. Conf. on Soil Mechanics and Found. Engg. Rio, Brazil, 1989.
- 14-Koester, J. P., "The Influence of Fines Type and Content on Cyclic Strength", Ground Failures Under Seismic Conditions, ASCE GSP Vol. 44, PP. 17-33, 1994.
- 15-Singh, S., "Liquefaction of Silts and Silty Sands", 11th World Conference on Earthquake Engineering, Elsevier, 1996.

ارزیابی تأثیر ریزدانه غیرچسبنده بر پتانسیل روانگرایی ماسه‌ها در ادبیات فنی دنیا نمایانگر نتایج متناقضی است. اکثر مطالعات اخیر مؤید این مطلبند که با افزایش مقدار ریزدانه تا درصد معینی (معمولاً بین ۲۰ تا ۳۰ درصد)، مقاومت روانگرایی (استاتیکی و دینامیکی) ماسه کاهش و سپس با افزایش بیشتر مقدار ریزدانه‌ها مقاومت افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، نتایج مطالعات صحرایی بیانگر این مطلب است که افزایش ریزدانه سبب افزایش مقاومت روانگرایی می‌شود. اگرچه به نظر می‌رسد که این تناقض بیشتر متأثر از مبنای مقایسه رفتار باشد؛ طوری که، اگر نسبت تخلخل و یا تراکم نسبی مینا باشد آن گاه در یک مقدار نسبت تخلخل و یا تراکم نسبی ثابت است که با افزایش ریزدانه‌ها مقاومت روانگرایی کاهش می‌یابد. در صورتی که اگر نسبت تخلخل بین‌دانه‌ای و یا عدد *SPT* و *CPT* مینا قرار گیرند آن گاه در یک مقدار نسبت تخلخل بین دانه‌ای ثابت و نیز در یک مقدار عدد *SPT* و *CPT* ثابت است که با افزایش ریزدانه‌ها مقاومت روانگرایی افزایش می‌یابد.

مقاومت روانگرایی ماسه‌های سیلت‌دار و سیلت‌های ماسه‌دار در حقیقت وابسته به بافت ترکیب ماسه و سیلت می‌باشد (توانایاگام [۲۰]). هنگامی که درصد ریزدانه‌ها کم و نقش آنها فقط پرکننده بین درشت دانه‌ها باشد آن گاه وجود ریزدانه‌ها تأثیر چندانی در مقاومت نخواهد داشت؛ اما، اگر نحوه پخش ذرات ریزدانه‌ها به گونه‌ای باشد که بعضی از آنها به عنوان جداکننده در حد فاصل دانه‌های ماسه قرار گیرند آن گاه اسکلت ناپایدارتری نسبت به اسکلت اولیه ماسه‌ای تشکیل خواهد شد و در نتیجه مقاومت روانگرایی کاهش خواهد یافت. با افزایش بیشتر ریزدانه‌ها و در حالتی که درشت دانه‌ها کاملاً از یکدیگر تفکیک شده‌اند، می‌توان از تأثیر درشت دانه‌ها در تحمل نیروهای برشی صرف‌نظر نمود. در این حالت مقاومت تنها به وسیله ریزدانه‌ها تأمین می‌گردد.

۲- مراجع

- 1-Zhou, S., "Influence of Fines on Evaluating Liquefaction of Sand by CPT", Intl. Conf. on Recent Advances in Geot. Earthquake Engineering and Soil Dynamics St. Louis, Missouri, Vol 1, PP. 167-172, 1981.
- 2-Troncoso, J. H., and Verdugo, R., "Silt Content and Dynamic Behavior of Tailing Sands", 10th Intl. Conf. on Soil Mechanics and Found. Engg., California, Vol 3, PP. 1311-1314, 1985.

- 16-Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., and Chung, R. M., "Influence of SPT Procedures on Soil Liquefaction Resistance Evaluations", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 111 (12), 1985.
- 17-Seed, H. B., and De Alba, P., "Use of SPT and CPT Tests for Evaluating the Liquefaction Resistance of Sands", Proc. In Situ, 86, ASCE, PP. 281-302, 1986.
- 18-Tokimatsu, K., and Yoshimi, Y., "Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-Value and Fines Content", Soils and Foundations, Vol. 23, No. 4, PP. 57-74, 1983.
- 19-Ishihara, K., "Liquefaction and Flow Failure During Earthquakes", Geotechnique, Vol. 43, No. 3, PP. 351-415, 1993.
- 20-Thevanayagam, S., "Effect of Fines and Confining Pressure on Undrained Shear Strength of Silty Soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 6, 1998.