

مطالعه آزمایشگاهی خواص تراکم پذیری خاکهای رسی-سیلتی تهران

محمد کاظم جعفری

بخش ژئوتکنیک، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

هما یون صنیعی

مهندسین مشاور پی‌کاو، تهران، ایران

مجتبی حیدری

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(دریافت: ۷۹/۴/۱۸؛ پذیرش: ۷۹/۱۰/۱۲)

چکیده

نتایج آزمایش‌های تحکیم بر روی نمونه‌های دست نخورده رس‌های سیلتی جنوب تهران ارائه گردیده و با نتایج بدست آمده برای رس‌های سیلتی بازسازی شده مقایسه گردیده است. این آزمایشها به روش‌های بارگذاری پله‌ای و نرخ کرنش ثابت انجام شده است. در این پژوهش ضمن بررسی اثرساختار خاک جنوب تهران بر رفتار تراکم پذیری آن، تغییرات تنش تسلیم در اعماق مختلف بررسی شده است. ضمناً تأثیر سرعت کرنش خاک در مقدار تنش تسلیم و رفتار خزشی خاک‌ها مطالعه گردیده است. مقدار خزش در بارگذاری پله‌ای، در نقطه تسلیم و همزمان با شروع تخریب ساختار خاک، به حداکثر مقدار ممکن می‌رسد. همچنین شاخص تورم خاک، قبل از تخریب ساختار خاک، ناچیز می‌باشد. اما بعد از شروع تخریب ساختار خاک و درحین باربرداری، در تنش‌هایی کمتر از تنش تسلیم، مقدار آن اضافه می‌گردد، لذا می‌توان نتیجه‌گیری نمود که پدیده‌های تورم و خزش با تخریب ساختار خاک مرتبط هستند.

واژه‌های کلیدی: خاک رس سیلتی، ساختار، تراکم پذیری، تحکیم، آزمایشات آزمایشگاهی، تورم، خزش، بازسازی شده.

مقدمه

ویژگیهای تراکم پذیری و مقاومتی خاکهای ریزدانه بازسازی شده (Reconstituted)، مرجع معتبری برای فهم و تفسیر رفتار خاکها در حالت دست نخورده (Undisturbed) محسوب میگردد (Burland, 1990). در این مقاله نتایج مطالعات آزمایشگاهی انجام گرفته بر روی نمونه های طبیعی (Natural) رسهای سیلتي جنوب تهران ارائه گردیده است و با رفتار نمونه های بازسازی شده همان خاک مقایسه شده است. طبق تعریف بارلند (Burland, 1990) خاک بازسازی شده دوغاب حاصل از مخلوط کردن ذرات خاک با رطوبتی معادل ۱ تا ۱/۵ برابر حد روانی است که تحت تنش های تک بعدی متراکم شده باشد. ویژگیهای مکانیکی خاکهای بازسازی شده به عنوان خواص ذاتی (Intrinsic properties) شناخته می شوند، زیرا مستقل از شرایط طبیعی خاک می باشند. این ویژگیها قادرند چارچوب مناسبی برای ارزیابی اثر ساختار خاک (Soil structure) بر رفتار آنها در حالت طبیعی فراهم آورند. لرویل و واگان (Leroueil & Vaughan, 1990) مطالعات جامعی در مورد مقایسه خواص رفتاری خاکهای دارای ساختار (Structured Soils) و خاکهای فاقد ساختار (Non-Structured Soils) انجام داده اند.

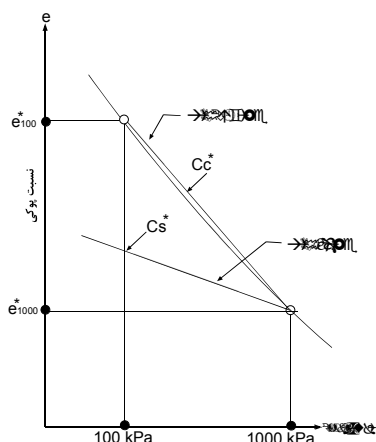
۲- تراکم پذیری خاکها

منحنی تورم و تحکیم تک بعدی خاکهای بازسازی شده به صورت نمادین در شکل ۱ نمایش داده شده است. این منحنی معمولاً دارای تعقیری به سمت بالاست که می توان در محدوده تنش های مؤثر قائم ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ kpa آنرا خطی در نظر گرفت. لذا شاخص تراکم پذیری ذاتی خاک (C_c^{*}) به صورت زیر تعریف میگردد:

$$C_c^* = e_{100}^* - e_{1000}^* \quad (1)$$

در رابطه (۱) e₁₀₀^{*} و e₁₀₀₀^{*} به ترتیب نشان دهنده نسبت پوکی خاک بر روی خط تراکم ذاتی متناظر با تنش های مؤثر قائم ۱۰۰ kpa و ۱۰۰۰ kpa می باشند.

شکل ۱- منحنی تحکیم و تورم خاکهای برزسازی شده در حالت تک بعدی.



منحنی تورم خاک نیز دارای تعقیری به سمت بالاست، اما برای نسبت پیش تحکیم یافتگی 10(OCR=10)، می توان آن را خطی فرض نمود. شاخص تورم ذاتی (C_s^*) شیب منحنی تورم ذاتی در نسبت پیش تحکیم یافتگی ۱۰ است. برای خاکهایی که مشخصات آنها در نمودار خمیری خاک در بخش فوقانی خط A قرار می گیرند، می توان مقادیر e_{100}^* و C_c^* آنها را بر حسب نسبت پوکی خاکها در حد روا نی (e_L) تعریف نمود (Burland, 1990).

$$e_{100}^* = 0.109 + 0.67 e_L - 0.089 e_L^2 + 0.16 e_L^3 \quad (2)$$

$$C_c^* = 0.256 e_L - 0.04 \quad (3)$$

برای یافتن مقادیر C_c^* و e_{100}^* توصیه می گردد آزمایش تحکیم تک بعدی بر روی نمونه های باز سازی شده انجام گیرد. مقادیر بدست آمده از این طریق در مقایسه با مقادیر بدست آمده از روابط (۲) و (۳) دقیق تر خواهند بود.

ترزاقی (Terzaghi, 1941) منحنی دیگری به نام خط تراکم رسوبی تعریف نمود که این منحنی در حالت طبیعی (SCL) همواره در سمت راست منحنی تراکم ذاتی (ICL) آن می افتد (شکل ۲). با مقایسه دو منحنی همانطور که مشاهده می شود، خاکها در حالت طبیعی و در نسبت پوکی یکسان با شرایط بازسازی شده، می توانند تنش قائم مؤثر بیشتری را تحمل نمایند، زیرا در این حالت ساختار طبیعی خاک در مقیاس میکروسکوپی مانع از تراکم پذیری بیشتر آن می گردد. منظور از ساختار میکروسکوپی، نحوه آرایش ذرات خاک (میکروفابریک) و پیوند (bonding) بین آنهاست (Mitchel, 1967; Vaughan, 1988). با مراجعه به شکل ۲ می توان بر روی منحنی تراکم طبیعی خاکها مقدار تنش مشخصی را تعریف نمود که ساختار خاک تحت تنشی بیشتر از آن تنش تخریب می گردد. این تنش را اصطلاحاً تنش تسلیم (yield stress) گویند. موقعیت تنش تسلیم نسبت به خط تراکم ذاتی را می توان با استفاده از نسبت (p_y/p_e^*) بدست آورد. p_e^* تنش معادل بر روی منحنی تراکم ذاتی است که با نسبت پوکی طبیعی خاک در تنش تسلیم مطابقت دارد (شکل ۲). این نسبت بیانگر مقاومت خاک در مقابل عمل تراکم و تخریب ساختار خاک است. حداکثر شاخص تراکم برای خاکهای طبیعی در مقایسه با شاخص تراکم ذاتی آنها ممکن است دو برابر یا بیشتر باشد که این نسبت خود بر حسب موقعیت تنش تسلیم نسبت به خط تراکم ذاتی خاک متغیر است.

با در نظر گرفتن اینکه وضعیت کانی شناسی ذرات خاک در اعماق مختلف از سطح زمین متفاوت است، لذا تعریف منحنی تراکم رسوبی واحد برای عمق های گوناگون میسر نمی باشد زیرا نسبت پوکی آنها متفاوت است. نسبت پوکی خاکها بر حسب مقدار حدروانی و تاریخچه

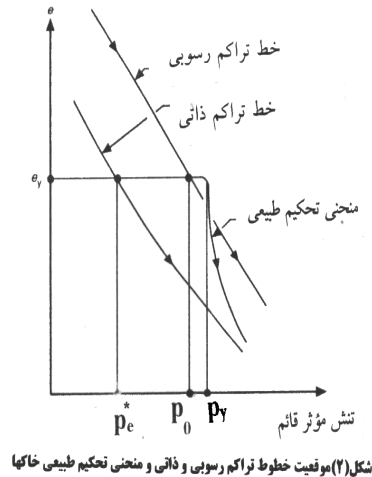
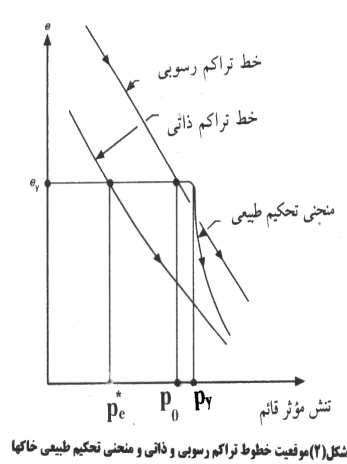
زمین شناسی آنها متغیر است. برای مقایسه رفتار خاکهایی که دارای نسبت پوکی متفاوتی هستند، پیشنهاد شده است (Burland, 1990)، از یک پارامتر نرمالیزه کننده یعنی شاخص پوکی (void Index) استفاده شود. طبق تعریف شاخص پوکی عبارتست از:

$$Iv = \frac{e - e_{100}^*}{e_{100}^* - e_{1000}^*} \quad (4)$$

هنگامیکه e برابر e_{100}^* باشد، شاخص پوکی صفر خواهد شد و در حالتیکه e برابر e_{1000}^* باشد، $Iv = -1$ خواهد شد. برای خاکهایی که دارای ویژگیهای خمیری متفاوتی هستند، خط تراکم ذاتی در محدوده تنش های مؤثر ۱۰ تا ۵۰۰۰ kpa را می توان با تقریب قابل قبول به صورت خط واحدی در نظر گرفت. این خط در شکل ۳ نشان داده شده است.

خط تراکم رسوبی (SCL)

ترسیم خط تراکم رسوبی (SCL) در صفحه $Iv - \log p_0$ و مقایسه موقعیت این خط با خط تراکم ذاتی می تواند بیانگر فرایندهای زمین شناسی باشد که حین رسوب گذاری اولیه و یا بعد از رسوب گذاری، ساختار طبیعی خاک را شکل داده اند. برای خاکهای تحکیم یافته با حساسیت کم تا متوسط، خط تراکم رسوبی در مجاورت خط تراکم ذاتی قرار می گیرد (شکل ۳). موقعیت



خط تراکم رسوبی برای خاکهای مختلف متغیر است اما می توان در محدوده تنش های ۱۰ تا

۱۰۰۰ kpa خط واحدی رابه عنوان خط تراکم رسوبی (SCL)، به موازات خط تراکم ذاتی تعریف نمود (Burland,1990).

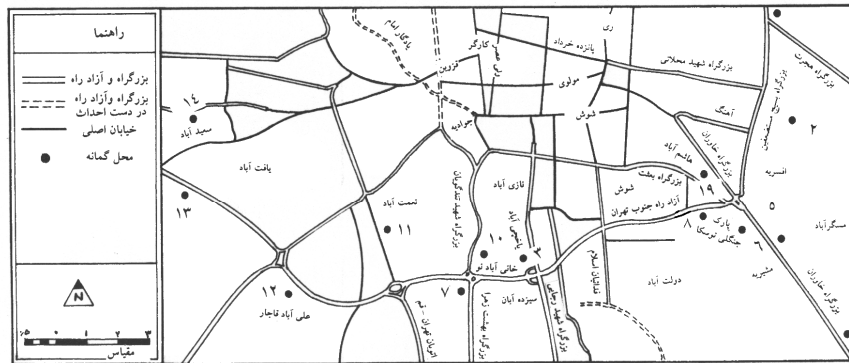
برای خاکهای عادی تحکیم یافته معمولاً نسبت (p_0/p_e^*) معادل ۵ است (شکل ۳). p_0 نشان دهنده مقدار تنش مؤثر بر جای خاک است. بر حسب تاریخچه زمین شناسی خاکها، منحنی‌های تحکیم آنها می تواند خط تراکم رسوبی (SCL) را قطع نموده وحتی در سمت راست آن قرار گیرد.

مقایسه خطوط تراکم ذاتی (ICL) و رسوبی (SCL) محک مناسبی برای ارزیابی ویژگیهای تراکم پذیری خاک ریزدانه هستند. هنگامی که خاک دارای ساختار طبیعی باشد و تحت اثر تراکم تک بعدی قرارگیرد، معمولاً منحنی تحکیم خاک خط ICL را قطع نموده و بعد از رسیدن به تنش تسلیم (Py)، مرحله شکست ساختار خاک شروع می گردد. این پدیده یک فرایند تدریجی است. اگر تنش تسلیم بین خطوط ICL و SCL قرار گیرد، نشان دهنده وجود پیوند بین ذرات خاک است. اما اگر تنش تسلیم سمت راست خط SCL قرار گیرد، نمایانگر خاکی با حساسیت (Sensitivity) بالاست. دراین حالت ساختار خاک دارای پیوندهای بسیار حساس می باشد و ممکن است شاخص تراکم طبیعی خاک (c_c) بیش از دو برابر شاخص تراکم ذاتی (c_c^*) آن باشد.

اشمرتمن (Schmertmann,1969) با مطالعه خواص تورم پذیری خاکها در حالات طبیعی و بازسازی شده معیار دیگری برای تعیین وضعیت پیوند مابین ذرات خاک ارائه نمود. این شاخص نسبت حساسیت تورم خاک (C_s^*/C_s) نامیده شده است که در آن C_s و C_s^* به ترتیب نشان دهنده شاخص تورم طبیعی و شاخص تورم ذاتی خاک هستند. اگر مقدار عددی این نسبت بیش از ۲/۵ باشد، میتواند دلیلی بر وجود پیوند قوی بین ذرات خاک باشد.

۳- دستگاهها و روش های آزمایش

برای تهیه نمونه های دست نخورده آزمایشگاهی تعداد بیش از ۱۵ گمانه در بخش جنوبی تهران به روش حفاری دورانی حفر گردیده است. عمق حفاریها از ۱۵ تا ۶۰ متر متغیر بوده و مجموع عمق حفاریها بیش از ۴۰۰ متر می باشد. نمونه های دست نخورده خاک از اعماق مختلف و با استفاده نمونه گیری های شلبی و PVC تهیه شده است. محل تقریبی گمانه ها بصورت شماتیک در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴ - نقشه موقعیت گمانه ها

مطالعه رفتار تراکم‌پذیری خاکهای ریزدانه جنوب تهران با استفاده از دستگاه تحکیم استاندارد اصلاح شده انجام پذیرفته است. این دستگاه قادر است تا 1600 kpa تنش اعمال نماید. قطر نمونه‌های دست نخورده و بازسازی شده 50 و 70 میلی‌متر و ارتفاع آنها 20 میلی‌متر می باشد. برای انجام آزمایش تحکیم به روش بارگذاری پله‌ای (IL)، هر مرحله بارگذاری به مدت 24 ساعت اعمال شده است. برای تعیین دقیق تنش تسلیم، قبل از رسیدن به تنش مؤثر قائم صحرایی، چهار مرحله بارگذاری انجام شده است. بدین طریق که در هر مرحله، میزان افزایش تنش معادل با $1/4$ تنش مؤثر قائم صحرایی بوده است. برای اعمال تنشهای بیشتر از تنش مؤثر قائم صحرایی، میزان افزایش تنش در هر مرحله، دو برابر تنش مرحله قبل بوده است. همچنین برای تعیین ویژگیهای خزشی خاکها آزمایشهایی به روش بارگذاری پله‌ای انجام شده است که مدت زمان هر مرحله بارگذاری 72 ساعت بوده است. همچنین برای بررسی اثر سرعت بارگذاری بر رفتار تراکم‌پذیری خاکها، آزمایش تحکیم با نرخ کرنش ثابت (CRS) انجام شده است. سرعت بارگذاری از $0/001$ تا $0/005$ میلی متر در دقیقه متغیر بوده است. این آزمایش با استفاده از سلول تحکیم ((رو)) به قطر 7 cm انجام شده است. با این روش می توان تغییرات مقدار فشار آب منفذی در کف نمونه را در طی زمان اندازه گیری نمود.

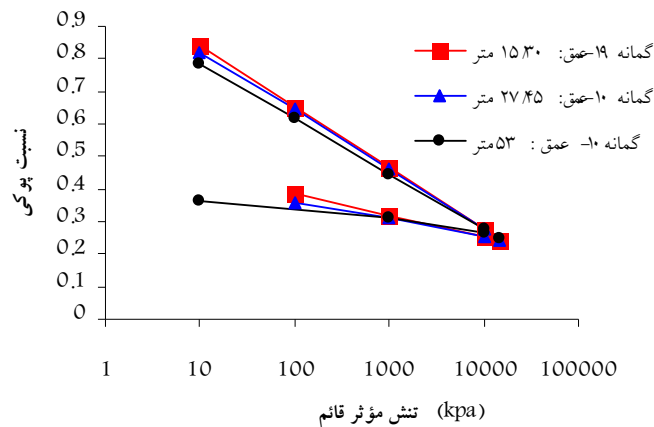
برای تعیین خواص ذاتی خاکهای ریزدانه جنوب تهران، نمونه‌های دست خورده بدست آمده از حفاری اعماق مختلف در رطوبتی معادل $1/25$ برابر حد روانی خاک، در داخل یک همزن با آب استحصال شده از محل گمانه ها، مخلوط گردیده است. دوغاب حاصل توسط دستگاه طراحی شده در آزمایشگاه (Oosolidometer) با بار استاتیکی 100 kpa تحکیم یافته است. مدل ساخته شده در آزمایشگاه استوانه ای به ارتفاع 40 سانتیمتر و قطر 10 سانتیمتر است

که به یک ترانسدیوسر متصل می باشد. نمونه خاک بازسازی شده تا استهلاک فشار آب منفذی ایجاد شده بارگذاری می گردد. در این زمان خاک تحکیم اولیه خود را انجام داده است. بدین طریق نمونه های بازسازی شده، جهت انجام آزمایشهای تحکیم آماده سازی شده اند.

۴- ویژگیهای تراکم پذیری خاکهای جنوب تهران

۴-۱- نمونه های بازسازی شده:

منحنی های تراکم و تورم ذاتی بدست آمده از آزمایشهای تحکیم تک بعدی بر روی نمونه های بازسازی شده در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل (۵) نتایج آزمایشهای تحکیم نمونه های بازسازی شده

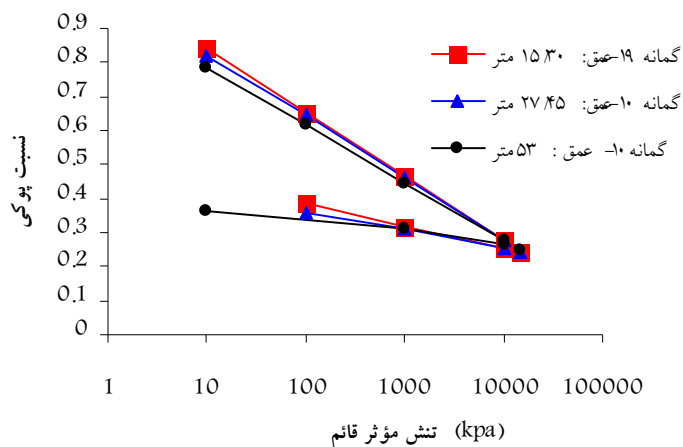
مقادیر e_{100}^* ، C_c^* و C_s^* بدست آمده از آزمایشات در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱ - خواص شاخص و ویژگیهای تراکم پذیری ذاتی خاکهای جنوب تهران

شماره گمانه	عمق(متر)	W%	G _s	L _L %	IP %	e _L	Caco3 %	e ₁₀₀ [*]	C _c [*]	C _s [*]
۱۹	۱۵/۳۰	۲۳	۲/۷۴	۳۲	۱۳	۰/۸۹	۲۹/۶۴	۰/۶۵۴	۰/۱۸۸	۰/۱۰۷
۱۰	۲۷/۴۵	۱۶۹۹	۲/۶۷	۳۳	۱۲	۸۸	۱۷/۱	۰/۶۴۵	۰/۱۸۵	۰/۱۲۱
۱۰	۵۳	۲۸	۲/۷۴	۳۸	۲۰	۸۲۳	۳۵/۷۲	۰/۶۱۵	۰/۱۷	۰/۱۰۹

۲-۴- نمونه های طبیعی

منحنی های تحکیم خاک طبیعی جنوب تهران در اعماق مختلف در شکل (۶) نشان داده شده است.



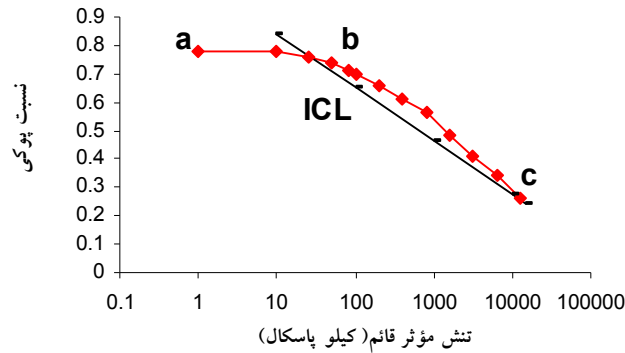
شکل (۵) نتایج آزمایشهای تحکیم نمونه های بازسازی شده

مقادیر پارامترهای تراکم پذیری خاک در حالت طبیعی در جدول ۲ آورده شده است. لازم به ذکر است که مقادیر شاخص تورم خاکها قبل از تنش تسلیم کمتر از ۰/۰۲ می باشد که برای پرهیز از وضوح شکل ۶ از نمایش آن خودداری شده است.

جدول ۲ - ویژگیهای تراکم پذیری خاک جنوب تهران در حالت طبیعی

شماره گمانه	عمق (متر)	e_0	C_c	C_s	P_y (Kpa)
۱۹	۱۵/۳۰	۰/۷۷۸	۰/۲	۰/۰۴۸	۲۲۰
۱۰	۲۷/۴۵	۰/۶۲۹	۰/۲۳۵	۰/۰۴۴	۴۳۵
۱۰	۵۳	۰/۷۷۳	۰/۳۳۷	۰/۰۳۸	۶۸۰

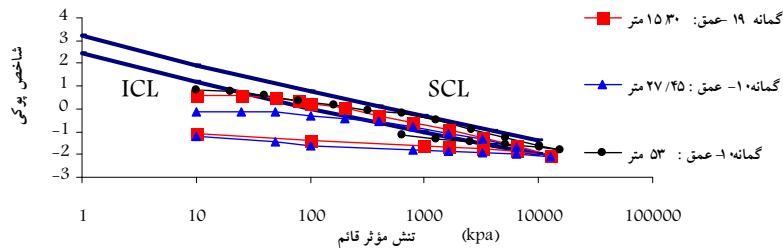
کلی تون و همکاران (Clayton et al., 1992) نشان دادند که تحت اثر پدیده تراکم و به علت کرنش حجمی ایجادشده، اجزاء ساختاری خاک، حالت پایدار اولیه خود را از دست می دهند. این یافته در مورد خاک جنوب تهران نیز صادق است. روند تخریب ساختار خاک جنوب تهران در عمق ۱۵/۳۰ متری در گمانه ۱۰ در شکل (۷) نشان داده شده است. در تنش های کمتر از تنش تسلیم، ساختار اولیه خاک حفظ می گردد (مسیر ab).



شکل (۷) روند تخریب ساختار خاک در آزمایش تحکیم تک بعدی

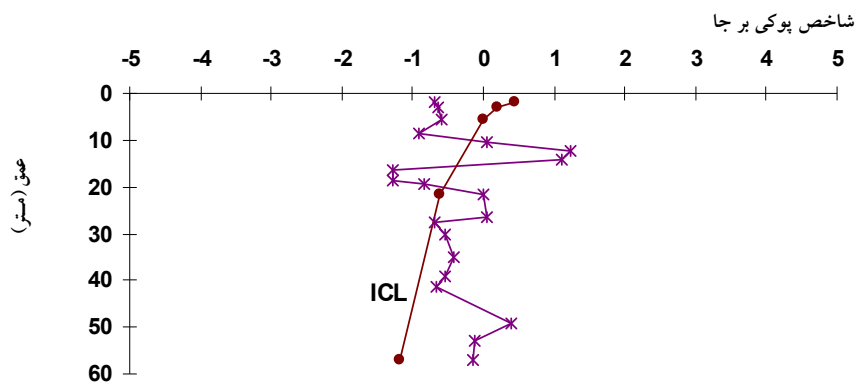
با افزایش تنش تخریب ساختار خاک بعد از نقطه تسلیم (Yield point) شروع می‌گردد و منحنی تحکیم خاک به صورت تدریجی در مسیر (bc) بصورت پیش‌رونده، به سمت خط (ICL) همگرایی نشان می‌دهد تا نهایتاً در نقطه C، منحنی تراکم بکر خاک (VCL) با منحنی تراکم ذاتی (ICL) تلاقی پیدا می‌کند. در این نقطه خاک ساختار اولیه خود را کاملاً از دست داده است. محدوده‌ای که بین خطوط VCL و ICL محصور شده است، درجه ساختمانی بودن خاک را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۸، خاک تهران در محدوده خط تراکم ذاتی و خط تراکم رسوبی قرار می‌گیرد و حتی در عمق ۵۳ متری، منحنی شاخص پوکی طبیعی، خط SCL را قطع می‌کند که بیانگر سیمان شدگی قوی بین ذرات خاک و آرایش متراکم آنهاست.



شکل (۸) نتایج آزمایشهای تحکیم نمونه های طبیعی بر حسب شاخص پوکی خاک

دانسیتته بالای خاک (بیش از 23 kn/m^3)، عدد نفوذ استاندارد ($SPT \geq 20$) و درصد بالای کربنات کلسیم (حداقل ۱۷٪) مؤید نوع رفتار مکانیکی خاک است. با داشتن مقادیر نسبت پوکی برجای خاکها در اعماق مختلف از سطح زمین، در محل گمانه شماره ۱۰، شاخص پوکی بر جای (Iv) خاک محاسبه شده و در اعماق مختلف با مقدار شاخص پوکی ذاتی (Iv) خاک بر روی منحنی تراکم ذاتی (ICL) مقایسه گردیده است (شکل ۹).



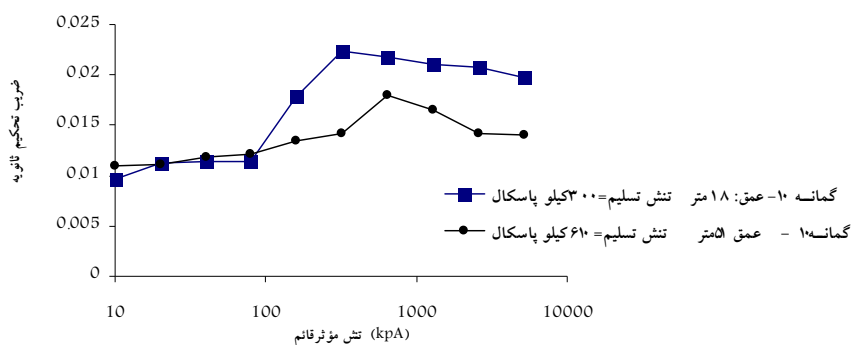
شکل (۹) تغییرات شاخص پوکی بر جا در اعماق مختلف

همانطور که مشاهده میشود، مقدار (Iv_0) در بخش سطحی (اعماق کمتر از ۱۰ متر) و در اعماق ۱۶ تا ۲۰ متر کمتر از مقدار (Iv) است. این کاهش میتواند محصول فرایندهای اولیه یا ثانویه زمین شناسی باشد که باعث دست خوردگی ساختار اولیه خاک گردیده‌اند. با توجه به شرایط زمین شناسی منطقه جنوب تهران، پدیده هوازدگی و گسترش آن در بخش سطحی لایه های خاک، فرسایش، تغییرات درصد رطوبت خاک در فصول مختلف و پدیده خشک شدگی (Dessication) از جمله فرآیندهای مذکور می باشند. وجود لایه های آجری رنگ و انکلوژیون هایی از پیریت اکسیده شده، بیانگر هوازدگی بخش فوقانی لایه های زمین است. همچنین مشاهده نمونه های دستی خاک نیز وجود درز و ترک ماکروسکوپی در بخش های سطحی را نشان می دهد. بعلاوه نتایج آزمایشات لرزه شناسی نشان می دهد که به علت پدیده هوازدگی، سرعت سیر امواج برشی تا عمق ۱۰ متری از سطح زمین حداکثر ۱۸۰ متر بر ثانیه بوده که در اعماق پایین تر سرعت از ۶۳۰ تا ۸۲۰ متر بر ثانیه متغیر است (جعفری و اصغری، ۱۳۷۶). در اعماق ۱۶ تا ۲۰ متری نیز می توان تغییر شرایط محیط رسوبگذاری را از علل کاهش مقدار Iv_0 نسبت به Iv تفسیر نمود. در اثر سرعت بالای رسوبگذاری و به علت بارش های شدید فصلی و جریانات سیلابی تند و موقت، نسبت پوکی خاک به شدت کاهش یافته است (جعفری و اصغری، ۱۳۷۶).

در اعماق بیش از ۲۰ متر، مقدار Iv_0 نسبت به Iv همواره بزرگتر بوده، لذا می توان نتیجه گرفت که در این اعماق، خاک دارای ساختار می باشد. همچنین منحنی های تحکیم خاک در اعماق ۲۷/۴۵ و ۵۳ متری در شکل ۹، خط (ICL) را قطع نموده که این امر نشان دهنده حساسیت بالای خاک و درجه بالای ساختمانی بودن آن می باشد.

۵- ویژگیهای خزشی خاک

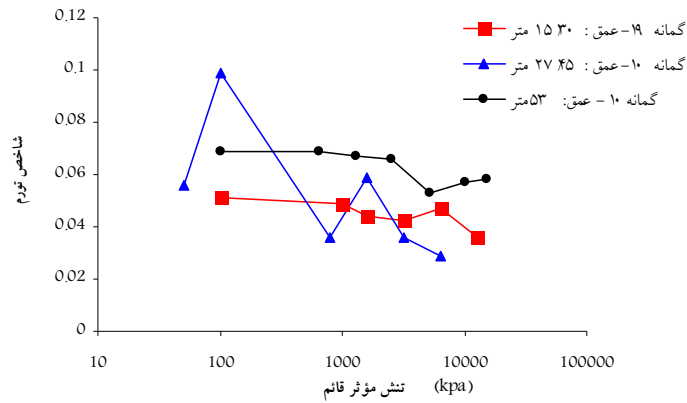
برای مطالعه رفتار خزشی خاک، آزمایشهایی به روش بارگذاری پله‌ای انجام شده است که مدت زمان اعمال بار در هر مرحله ۷۲ ساعت بوده است. بدین طریق رفتار خزشی خاک در تنشهای کمتر و بیشتر از تنش تسلیم با انجام سیکل‌های متوالی باربرداری و بارگذاری مجدد، مطالعه شده است. تغییرات ضریب تحکیم ثانویه خاک جنوب تهران به ازاء تغییر تنش مؤثر قائم در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد تغییرات این ضریب قبل از تنش تسلیم ناچیز است اما در محدوده تنش تسلیم ضریب تحکیم ثانویه به حداکثر مقدار خود می‌رسد.



شکل (۱۰) رفتار خزشی خاکهای جنوب تهران در آزمایش بارگذاری پله‌ای

۶- مطالعه ویژگیهای تورم پذیری خاک

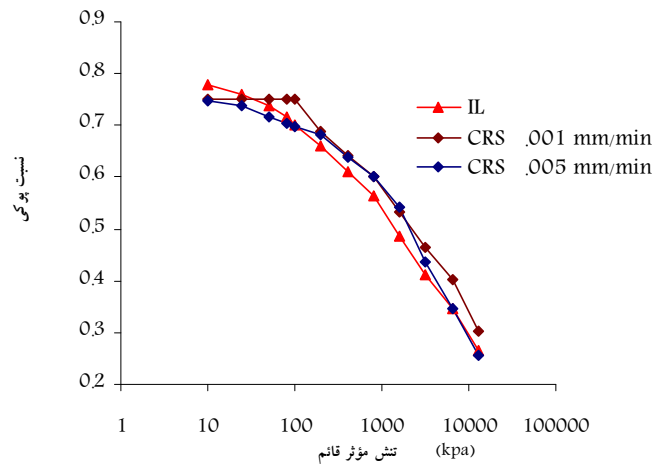
برای مطالعه تورم پذیری خاک جنوب تهران در تنشهایی کمتر و بیشتر از تنش تسلیم، آزمایش‌های بارگذاری پله‌ای انجام شده است. فرایند بارگذاری و باربرداری تا قبل از تنش تسلیم نشان می‌دهد که مقادیر شاخص تورم خاک (C_s) در حالت طبیعی بسیار ناچیز است. اما بعد از تنش تسلیم مقدار این شاخص افزایش می‌یابد. این افزایش در مرحله باربرداری در تنشهای کمتر از تنش تسلیم حداکثر مقدار ممکن را نشان می‌دهد (شکل ۱۱). بنابر این می‌توان به روشنی ارتباط بین پدیده خزش و شکست ساختار خاک را مشاهده نمود. در مرحله قبل از تخریب ساختار خاک، چون سیمان شدگی بین ذرات خاک قوی می‌باشد، لذا امکان تورم خاک وجود ندارد اما بعد از شروع تخریب ساختار خاک، مقدار شاخص تورم اضافه می‌گردد.



شکل (۱۱) تغییرات شاخص تورم بر حسب تنش مؤثر قائم بعد از تخریب ساختار خاک

۷- تأثیر نوع آزمایش بر مقدار تنش تسلیم خاک:

برای بررسی سرعت کرنش خاک در وضعیت تراکم‌پذیری آن، آزمایش‌هایی به روش بارگذاری پله‌ای و نرخ کرنش ثابت (CRS) انجام شده است. شکل ۱۲ نشان دهنده منحنی‌های تحکیم خاک در عمق ۴۶/۵ متری به روش بارگذاری پله‌ای (IL) و سرعت کرنش ثابت (CRS) است. همانطور که مشاهده می‌شود برای آزمایش‌های تحکیم به روش CRS مقدار تنش تسلیم بزرگتر از مقدار حاصل شده از آزمایش بارگذاری پله‌ای است. همچنین هرچه سرعت کرنش خاک افزایش یابد، منحنی تحکیم خاک به سمت راست جابجا شده و تنش تسلیم افزایش می‌یابد. لذا می‌توان نتیجه گرفت در محیط رسوبگذاری، سرعت نهشته شدن ذرات بر رفتار مکانیکی آنها تأثیر تعیین کننده‌ای دارد.



شکل (۱۲) تأثیر نوع آزمایش تحکیم بر تنش تسلیم

۸- نتیجه گیری

مقایسه شاخص پوکی برجای خاک (I_v) با شاخص پوکی ذاتی (I_v) آن نشان می‌دهد که خاک ریزدانه جنوب تهران یک خاک دارای ساختار (Structured Soils) است که در اعماق کم فرایندهای زمین شناسی مانند هوازدگی، خشک شدگی و نا برجائی، بر ساختار اولیه آن اثر گذارده است.

رفتار مکانیکی خاکهای ریز دانه جنوب تهران برای نمونه های طبیعی و باز سازی شده در نسبت های پوکی و تنش های یکسان متفاوت است، که علت آن تفاوت تاریخچه زمین شناسی خاک در حالات طبیعی و باز سازی شده می‌باشد. فرایندهای سیمان شدگی (cementation)، پیرشدگی (aging)، خزش (creep) از جمله پدیده‌هایی هستند که ساختار کنونی خاک را شکل داده‌اند.

حساسیت تورم خاکهای جنوب تهران بزرگتر از $2/5$ می باشد، لذا می‌توان نتیجه گرفت که پیوند (bonding) بین ذرات خاک، ناشی از سیمان شدگی، قوی می‌باشد، ولی در بخش‌های سطحی در اثر فرایندهای تخریبی ساختار اولیه بهم خورده است.

با افزایش نرخ کرنش، مقدار تنش تسلیم افزایش می‌یابد. از طرفی با در نظر گرفتن این نکته که تنش تسلیم مرز بین رفتار الاستیک و پلاستیک خاک و یا به تعبیر دیگر، نقطه شروع تخریب ساختار خاک است، لذا می‌توان نتیجه‌گیری نمود که هر چه سرعت نهشته شدن رسوبات در شرائط طبیعی بیشتر باشد، تخریب ساختار طبیعی خاک تحت تنش بالاتری شروع خواهد شد.

ضریب تحکیم ثانویه خاک در تنش تسلیم به طور ناگهانی افزایش نشان می‌دهد که کرنش تابع زمان خاک با شروع تخریب ساختار اولیه آن به صورت جهشی افزایش می‌یابد. شاخص تورم خاکها قبل از تخریب ساختار خاک ناچیز است. اما بعد از اینکه ساختار خاک کاملاً تخریب می گردد، در اثر باربرداری، مقدار شاخص تورم در تنش‌هایی کمتر از تنش تسلیم حداکثر مقدار را دارد. بنابر این می‌توان ارتباط بین ساختار خاک و پدیده تورم را نشان داد. مقایسه رفتار خاکهای جنوب تهران در تراکم تک بعدی در حالت طبیعی با خطوط تراکم ذاتی (ICL) و رسوبی (SCL) بیانگر آن است که چارچوب ارائه شده توسط بارلند (Burland, 1990) در مورد ساختار طبیعی خاک جنوب تهران با رفتار واقعی خاک مطابقت دارد.

سپاسگزاری

بدینوسیله نگارندگان از همکاران مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله و همچنین از آقای علی شفیع‌ی که ما را در تهیه نمونه های صحرایی و انجام آزمایشات آزمایشگاهی یاری نموده اند، صمیمانه تشکر می نمایند.

References

- Burland, J.B., (1990) *On the compressibility and shear strength of natural clay*. Geotechnique **40**(3),329-378
- Clayton, C.R.I., (1992) *Progressive destructuring of Bouthkennar clay: implications for sampling and reconsolidation procedures*. Geotechnique **42**(2),219-239.
- Leroueil, S., & Vaughan, P.R.,(1990) *The general and congruent effects of structure in natural Soils and weak rocks*. Geotechnique **40**(3),467-488
- Mitchell, J.K., (1976). *Fundamentals of soil behaviour*. Newyork: Wiley.
- Schemertmann, J.H., (1969) . *Swell sensitivity*. Geotechnique **19**(4) 530-533.
- Terzaghi, K., (1941) *Undisturbed clay samples and undisturbed clays*. J. Boston Soc. civ. Engrs **28**(3),45-65
- Vaughan. P.R., (1988) *Characterising the mechanical properties of in-situ residual soil*. proc. 2nd int. conf. Geomech. Trop soils, singapore **2**,469-487.
- جعفری، محمد کاظم و اصغری، محمد (۱۳۷۶) ریز پهنه بندی ژئوتکنیک لرزه ای جنوب غربی تهران از دیدگاه تاثیرات ساختمانی، جلد اول، انتشارات مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله