

# طبقه بندی ساختاری خاکهای رسی و کاربرد آن برای طبقه بندی خاکهای رسی - سیلتی تهران

نوشته : دکتر محمدکاظم جعفری \* ، دکتر همایون صنیعی\*\* و مجتبی حیدری \*

## Structural classification of clay soils and its application in classifying Tehran city clays.

By : Dr.M.K. Jafari\* , Dr.H.Saniei \*\* and M.Haidari\*\*\*

### چکیده

در این پژوهش براساس رفتار خاکهای رسی در حالات طبیعی و بازسازی شده، یک چارچوب عمومی پیشنهاد شده است. رفتار رس‌های طبیعی و بازسازی شده توسط دو عامل فابریک و پیوند بین نرات خاک کنترل می‌گردد. در این مقاله، طبقه‌بندی جدیدی بر مبنای تاریخچه زمین‌شناسی و حساسیت ساختاری رس‌ها در صفحه  $\sigma_v - \sigma_v'$  و سستی و سستی آنها پیشنهاد شده است. علیرغم اینکه در این طبقه‌بندی، خاکها به ۸ دسته متفاوت تقسیم شده‌اند، اما می‌توان آنها را به دو گروه کلی خاکهای دارای ساختار رسوبی و خاکهای دارای ساختار بعد از رسوب‌گذاری تقسیم نمود. ردیابی رس‌ها، نقطه شروعی برای ساختن یک چارچوب عمومی جهت ارزیابی رفتار آنهاست. در این تحقیق نتایج آزمایشهای آزمایشگاهی و صحرایی بر روی رس‌های جنوب تهران، در حالات طبیعی و بازسازی شده ارائه گردیده است. سیمان شدگی ناشی از وجود کربنات کلسیم و همچنین فرایند هوازیگی، ساختار خاک جنوب تهران را متأثر نموده است. خاکهای جنوب تهران به صورت سخت تا سخت بوده و از دیدگاه زمین‌شناسی نیز، به صورت فوق تحکیم یافته مشاهده می‌شوند. منحنی تحکیم خاک جنوب تهران به خط (ICL) نزدیک بوده، بنابراین خاک از نوع شماره ۴ می‌باشد. اما در برخی از اعماق که (YSR) خاک بزرگتر از یک است، رده خاک از نوع خاک رس شماره ۷ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: رفتار خاکهای رسی، فابریک، پیوند بین نرات، تاریخچه زمین‌شناسی، فشار تک محوری، خاکهای رسی - سیلتی، توان

### Abstract

The behaviour of all reconstituted and natural clays is determined by their fabric and bonding. A new classification of clays is proposed in this paper on the basis of standard penetration test (SPT), the geological history and the one-dimensional compression of the clay in the  $\sigma_v - \sigma_v'$  plane. Although the eight clay types defined in the classification have different origins, fabric and bonding, they all have either a syn-sedimentation or a post-sedimentation structure. The definition of these clay types is taken as a starting point for the construction of a

general framework of behaviour of clays. In this research results of laboratory and field investigations of a very stiff Tehran silty clay in the natural and reconstituted states including SPT, Oedometer, Scanning Electron Microscopy and polarizing microscopy are presented. The structure of the Tehran silty clay is strongly influenced by bonding, calcium carbonate content and weathering intensity. This soil is a very stiff to hard clay which geologically is over-consolidated. Consolidation curve of soils lies close to the ICL line. Hence the Tehran silty clay is a type 4 clay but, at certain depths where the yield stress ratio is greater than 1, the Tehran silty clay becomes a type 7 clay.

Key Words: Clay behaviour, fabric, bonding, geological history, one-dimensional compression, Tehran silty clay.

## مقدمه

امروزه برای طبقه بندی خاکها از دیدگاه زمین شناسی مهندسی، معیارهای گوناگونی مد نظر قرار گرفته است. از جمله این معیارها میتوان به اندازه نرات، ویژگیهای خمیری، خاستگاه و عوامل تشکیل دهنده خاکها اشاره نمود. هدف این طبقه بندیها، دستمندی کردن خاکها بر گروهائی است که دارای رفتار مشابهی هستند. بر تمامی طبقه بندیهای ژئوتکنیکی، ویژگیهای نمونه های دست خورده (disturbed samples) ملاک دستمندی خاکها بوده است. دست خوردگی نمونه ها، باعث تغییر ساختار خاک (soil structure) میگردد، لذا طبقه بندیهای موجود بیانگر رفتار واقعی خاکها، بر شرایط طبیعی نمی باشند. هدف اصلی مباحث زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، شناخت رفتار واقعی خاکهاست. رفتار مکانیکی خاکهای ریزدانه، تابع تاریخچه زمین شناسی آنها بوده و تشکیل ساختار اولیه خاکها و تغییرات آن در طی زمان زمین شناسی، نقش تعیین کننده ای بر ویژگیهای رفتاری خاک دارد (Chandler, 2000). خاکهای رسی سست (soft clay)، رس سخت (hard clay)، خاکدانه ای (granular soil) و همچنین خاکهای برجی، برحسب وضعیت ساختاری میتوانند مشابه سنگهای هوازبه و ضعیف عمل کنند (Leroueil & Vaughan, 1900). بر این پژوهش سعی شده است، طبقه بندی جدیدی بر مبنای ویژگیهای ساختاری خاکها ارائه گردد به گونه ای که قدرت ارتباط بین رفتار مکانیکی، تاریخچه زمین شناسی و ساختار میکروسکوپی خاکها را داشته باشد.

## ۱- مفاهیم پایه

برای بیان این طبقه بندی، ابتدا مفاهیم اساسی که مورد استفاده قرار گرفته است، شرح دانه میشود تا زبان مشترکی برای فهم طبقه بندی پیشنهادی باشد.

## ۱-۱- ساختار خاک

ساختار خاک (soil structure) به تلفیقی از پیوند بین نرات (bonding) و نحوه آرایش نرات خاک (Fabric) گفته می شود (Mitchell, 1967). این واژه بیانگر تفاوت بین خواص خاک در حالات طبیعی و بازسازی شده (reconstituted) بر نسبت پوکی (void ratio) یکسان می باشد (Burland, 1990). فابریک خاکها تابع عوامل گوناگونی است. از جمله این عوامل میتوان به شرایط و سرعت رسوبگذاری، وجود آب در محیط رسوبگذاری، اندازه نرات خاک، نوع کانی رسی، درصد املاح موجود در آب، نسبت کاتیونهای تک ظرفیتی به کاتیونهای بوظرفیتی، وجود مواد آلی، میزان تحکیم یافتگی رسها و ... اشاره نمود.

بررسی های کاملی توسط (Lambe (1951), Leroueil et al., (1985), Mitchell, (1976), Sides & Barden, (1970)، ریزدانه انجام گرفته است. پیوند بین نرات خاکهای ریزدانه می تواند تحت اثر عوامل مختلفی ایجاد گردد. نپروهای الکتروستاتیک، واندروالس، اسمزیک، کشش سطحی، همچنین سیمان شدگی و اتصال جامد بین نرات خاک از جمله عوامل پیوند یافتگی بین نرات خاک هستند. امروزه مقاومت خاکها را نمیتوان به تنهایی با میزان تخلخل و تاریخچه تنش خاکها برآورد نمود، بلکه عوامل گوناگونی مانند نهشته شدن سیمان بر محل تماس نرات ماسه ای (Mitchell & Solimar, 1984)، جوش خوردگی بین نرات تحت فشار بالا، رسوب املاح کربناته، هیدروکسیدها و مواد آلی ناشی از انحلال، در بین نرات خاک (Leroueil & Vaughan, 1990) بر مقاومت خاکها مؤثر هستند.

## ۱-۲- فرآیندهای زمین شناسی مؤثر بر ساختار خاکها

مراحل مختلف و طولانی مدت تشکیل خاک از سنگ منشاء.

آنها را برحسب نسبت پوکي خاکها بر حد رواني ( $e_L$ ) Burland, (1990) تعريف نمود.

$$e_{100}^* = 0.190 + 0.679 e_L - 0.089e_L^2 + 0.016e_L^3 \quad (2)$$

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

برای یافتن مقادیر  $e_{100}^*$  و  $C_c^*$  توصیه می‌گردد آزمایش تحکیم تک بعدی بر روی نمونه‌های بازسازی شده انجام گیرد. مقادیر بدست آمده از این طریق بر مقایسه با مقادیر بدست آمده از روابط (۲) و (۳) دقیقتر خواهند بود.

Burland (1990) منحنی دیگری به نام خط تراکم رسوبی تعریف نمود که این منحنی، در حالت طبیعی (SCL) همواره بر سمت راست منحنی تراکم ذاتی (ICL) می‌افتد (شکل ۱). با مقایسه منحنی‌های یاد شده، همانطور که مشاهده می‌گردد، خاکها در حالت طبیعی و بر نسبت پوکي یکسان با شرایط بازسازی شده، می‌توانند تنش قائم مؤثر بیشتری را تحمل نمایند، زیرا در این حالت ساختار طبیعی خاک در مقیاس میکروسکوپی، مانع از تراکم‌پذیری بیشتر آن می‌گردد.

با مراجعه به شکل (۱) میتوان بر روی منحنی تراکم طبیعی خاکها مقدار تنش مشخصی را تعریف نمود که ساختار خاک، تحت تنش بیشتر از آن تنش، تخریب می‌گردد. این تنش را بر اصطلاح تنش تسلیم (Yield stress) گویند. موقعیت تنش تسلیم نسبت به خط تراکم ذاتی را می‌توان با استفاده از نسبت  $[\sigma_{vy}^1 / \sigma_{ve}^*]$  بدست آورد.

$\sigma_{ve}^*$  تنش معادل بر روی منحنی تراکم ذاتی است که با نسبت پوکي طبیعی خاک در تنش تسلیم مطابقت دارد (شکل ۲). این نسبت که بیانگر مقاومت خاک در مقابل عمل تراکم و تخریب ساختار خاک است، در این محبت نشان دهنده حساسیت خاک در تراکم تک بعدی است. هر چه مقدار این نسبت بزرگتر باشد، خاک حساس‌تر است. حساسیت خاک بر اثر فرایندهای گروه ۱ به عنوان حساسیت رسوبی و حساسیت خاک بر اثر فرایندهای گروه ۲ به عنوان حساسیت بعد از رسوبگذاری تعریف شده است (جنول ۱). با در نظر گرفتن اینکه وضعیت کانی‌شناسی نژاد خاک بر اعماق مختلف از سطح زمین متفاوت است، لذا تعریف منحنی تراکم رسوبی واحد برای خاکها در ژرفاهای گوناگون میسر نمی‌باشد زیرا نسبت پوکي آنها متفاوت است. نسبت پوکي خاکها برحسب مقدار حد روانی و تاریخچه زمین‌شناسی آنها متغیر است. برای مقایسه رفتار خاکهایی که دارای نسبت پوکي متفاوتی هستند، پیشنهاد شده است از یک پارامتر نرمالیزه کننده یعنی شاخص پوکي (void Index) استفاده گردد (Burland, 1990). طبق تعریف شاخص پوکي عبارتست از:

رسوبگذاری، تحکیم، تراکم، بیازن، رخدایهای تکتونیکی، هوازگی، فرسایش و... ساختار نهائی خاک را شکل می‌دهند. برخی از این فرایندها همزمان و به موازات هم عمل میکنند. به طور کلی این فرایندها را میتوان به دو دسته فرایندهای حین رسوبگذاری و تراکم بکر خاک (گروه ۱) و فرایندهای بعد از رسوبگذاری و تراکم بکر خاک (گروه ۲) تقسیم نمود. انواع فرایندهای گروه ۱ و ۲ بر جنول (۱) نشان داده شده‌اند. فرایندهای گروه ۱ در حین نهشته شدن رسوبات عمل میکنند. ساختار خاک تحت اثر این فرایندها، ساختار رسوبی نامیده میشود (جنول ۱). فرایندهای گروه ۲ بعد از رسوبگذاری و تراکم بکر اولیه خاک بر ساختار آن اثر می‌گذارند. ساختار خاک، در این حالت اصطلاحاً ساختار بعد از رسوبگذاری نامیده میشود که بر اثر عملکرد فرایندهای گروه ۱ و ۲ شکل می‌گیرد.

### ۳-۱- تراکم پذیری و حساسیت خاکها:

ویژگیهای تراکم‌پذیری و مقاومتی خاکهای ریزدانه بازسازی شده مرجع معتبری برای فهم و تفسیر رفتار خاکها در حالت دست نخورده (Undisturbed) محسوب می‌گردد (Burland, 1990). از دیدگاه نامبرده خاک بازسازی شده بویاب حاصل از مخلوط کردن نژاد خاک با رطوبتی معادل ۱ تا ۱/۵ برابر حد روانی است که تحت تنش‌های تک بعدی متراکم شده باشد. ویژگیهای مکانیکی خاکهای بازسازی شده به عنوان خواص ذاتی (Intrinsic properties) شناخته می‌شوند، زیرا مستقل از شرایط طبیعی خاک می‌باشند. این ویژگیها قانبرند چارچوب مناسبی برای ارزیابی اثر ساختار خاک بر رفتار آنها در حالت طبیعی فراهم آورند.

منحنی تحکیم تک بعدی خاکهای بازسازی شده به صورت نمادین در شکل (۱) نمایش داده شده است. این منحنی معمولاً دارای مقعری به سمت بالاست که می‌توان در محدوده تنش‌های مؤثر قائم ۱۰۰ kpa تا ۱۰۰۰ kpa آنرا خطی در نظر گرفت. لذا شاخص تراکم‌پذیری ذاتی خاک ( $C_c^*$ ) به صورت زیر تعریف می‌گردد:

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

در رابطه (۱)  $e_{100}^*$  و  $e^*_{1000}$  به ترتیب نشان دهنده نسبت پوکي خاک بر روی خط تراکم ذاتی متناظر با تنش‌های مؤثر قائم ۱۰۰ kpa و ۱۰۰۰ kpa میباشد. برای خاکهایی که مشخصات آنها در نمودار خمیری خاک در بخش فوقانی خط A قرار می‌گیرند، می‌توان مقادیر  $e_{100}^*$  و  $C_c^*$

است. OCR نسبت حداکثر تنش مؤثر وارده به خاک بر طول تاریخچه زمین‌شناسی آن به تنش مؤثر فعلی است. برای تعیین OCR خاکها باید با استفاده از یافته‌های رسوب‌شناسی، حداکثر تنش وارده به خاکها در طول عمر زمین‌شناسی آنها را برآورد نمود.

### ۳- نسبت تنش تسلیم (YSR)

طبق تعریف Burland (1990) نسبت تنش تسلیم (YSR)، نسبت تنش تسلیم خاک به تنش مؤثر فعلی وارده به خاک است. حداقل مقدار این نسبت معادل OCR خاک است، ولی تحت اثر فرآیندهای گوناگون زمین‌شناسی، مقدار YSR خاک می‌تواند از OCR آن بیشتر باشد.

### ۴- طبقه‌بندی ساختاری خاکهای ریزدانه رسی

در این طبقه‌بندی خاکها به دو دسته کلی خاکهای دارای ساختار رسوبی و ساختار بعد از رسوبگذاری تقسیم شده‌اند. خاکهای دارای ساختار رسوبی خود به سه دسته نوع ۱، ۲، ۳، ۴ تقسیم می‌گردند. مشخصه این خاکها آن است که OCR آنها معادل واحد است. خاکهای دارای ساختار بعد از رسوبگذاری خود به دو دسته تقسیم می‌گردند. خاکهای نوع ۲ و ۴ که باربرداری زمین‌شناسی، تنها رخداد بعد از رسوبگذاری اولیه خاک است که ساختار خاک را متاثر کرده است. برای این خاکها YSR با OCR برابر است.

دسته سوم خاکهای دارای ساختار بعد از رسوبگذاری، خاکهای نوع ۶ و ۷ هستند که فرآیندهای ثانویه بر روی آنها عمل کرده‌اند. خاکهای نوع ۸ نیز دارای ساختار بعد از رسوبگذاری هستند. ویژگیهای ۸ دسته خاک پیشنهادی به شرح ذیل می‌باشد (جدول ۲).

### خاک نوع ۱

این خاکها، سست بوده و ساختار آنها تحت اثر فرآیندهای زمین‌شناسی گروه ۱ شکل گرفته‌اند. خاکها به صورت تحکیم عادی (NC) بوده و یا به ندرت به صورت کمی فوق تحکیم یافته مشاهده می‌گردند. ساختار خاک ضعیف بوده و در مراحل رسوبگذاری و بعد از آن فاقد سیمان‌شدگی است. تنش تسلیم (YSR) معادل با OCR است. حساسیت خاک، بیانگر تکوین ساختار خاک بر اثر فرآیندهای اولیه بوده و منحنی تحکیم خاک، در بین خطوط ICL و SCL قرار می‌گیرد.

$$IV = \frac{e - e^*}{e^*} \frac{100}{100 - c^*} \quad (2)$$

هنگامیکه  $e$  برابر  $100 - c^*$  باشد، شاخص پوکی صفر، و در حالتیکه  $e$  برابر  $1000 - c^*$  باشد،  $IV = -1$  خواهد شد. برای خاکهایی که دارای ویژگیهای خمیری متفاوتی هستند، خط تراکم ذاتی در محدوده تنش‌های مؤثر  $10 \text{ kpa}$  تا  $5000 \text{ kpa}$  را میتوان با تقریب قابل قبول به صورت خط واحدی برنظر گرفت. این خط در شکل (۲) نشان داده شده است. ترسیم خط تراکم رسوبی (SCL) در صفحه  $I_v - \sigma_v^I$  و مقایسه موقعیت این خط با خط تراکم ذاتی می‌تواند بیانگر فرآیندهای زمین‌شناسی باشد که همین رسوبگذاری اولیه و یا بعد از آن، ساختار طبیعی خاک را شکل داده‌اند. برای خاکهای تحکیم یافته با حساسیت کم تا متوسط، خط تراکم رسوبی در مجاورت خط تراکم ذاتی قرار می‌گیرد (شکل ۲). موقعیت خط تراکم رسوبی برای خاکهای مختلف متغیر است، اما میتوان در محدوده تنش‌های  $10 \text{ kpa}$  تا  $1000 \text{ kpa}$  خط واحدی را به عنوان خط تراکم رسوبی (SCL)، به موازات خط تراکم ذاتی تعریف نمود (Burland, 1990).

موقعیت برجای خاکهای سست (Soft soils)، بسیار حساس (high sensitivity) و رسهای سیمانی شده (cemented clay soils) در سمت راست خط SCL می‌افتند. در خاکهای به نسبت متراکم که سرعت رسوبگذاری بالا باشد، منحنی تحکیم آنها بین خط SCL و ICL (Chandler, 2000) می‌افتد. خاکها در این حالت عادی تحکیم یافته می‌باشند، هر چند در سمت راست خط ICL منطقه‌ای وجود دارد که خاک میتواند به صورت عادی یا پیش تحکیم یافته باشد. در صورتیکه موقعیت برجای خاک در سمت چپ خط ICL قرار گیرد، خاک فوق تحکیم یافته می‌باشد. (Chandler, 2000). شکل (۶) محدوده‌های فوق‌الذکر را برحسب مقادیر شاخص پوکی خاکها نشان داده است.

### ۲- وضعیت تحکیم یافتگی خاکها

خاکهای ریزدانه رسی را برپایه تاریخچه زمین‌شناسی آنها به دو گروه عادی تحکیم‌یافته (normally consolidated) یا خاک NC و فوق تحکیم یافته (over consolidated) یا خاک OC تقسیم میکنند. از دیدگاه Burland (1990) تنها حذف سربار روئی خاک بر اثر فرآیندهای زمین‌شناسی یعنی فرسایش و باربرداری، باعث فوق تحکیم‌یافتگی خاک میگردد. اگر نسبت پیش تحکیم‌یافتگی (OCR) خاکی بیش از یک باشد خاک را فوق تحکیم یافته و اگر OCR برابر یک باشد، خاک عادی تحکیم یافته

## خاک نوع ۲

این خاک نیز سست بوده و نسبت پوکی آن بالاست. خاک بر اثر فرآیندهای زمین‌شناسی، باربرداری شده و فوق‌تحکیم یافته ( $OCR > 1$ ) می‌باشد. تنش تسلیم خاک با تنش بیش‌تحکیم یافته برابر است و ساختار خاک بعد از رسوب‌گذاری اولیه تکوین یافته است.

## خاک نوع ۳

این خاک عادی‌تحکیم یافته بوده و به صورت رس سفت مشاهده می‌شود. خاک سربار قابل ملاحظه‌ای را تحمل کرده و تحت اثر پدیده‌ی نیازنز قرار گرفته است. منحنی تحکیم طبیعی خاک به خط تراکم رسوبی نزدیکتر است. مقابله تنش فوق‌تحکیم یافته، تنش تسلیم و تنش مؤثر برجا با هم برابر هستند.

## خاک نوع ۴

این خاک مشابه خاک نوع (۳) است، با این تفاوت که خاک، فوق‌تحکیم‌یافته بوده و باربرداری زمین‌شناسی باعث تغییر ناچیز در ساختار اولیه آن می‌گردد. حساسیت خاک به صورت حساسیت رسوبی است.

## خاک نوع ۵

خاک، عادی‌تحکیم‌یافته بوده و در حین رسوب‌گذاری اولیه بین نژات خاک توسط سیمان پر شده است. به علت سیمان‌شدگی، نسبت تنش تسلیم خاک، بیشتر از یک است و حساسیت خاک به صورت حساسیت رسوبی است. رفتار خاک، مشابه رفتار مارن و گل‌سنگ (Mudstone) بوده و منحنی تحکیم خاک، خط SCL را قطع می‌کند.

## خاک نوع ۶

خاک، عادی‌تحکیم یافته بوده و ساختار آن تحت اثر فرآیندهای گروه (۲) شکل گرفته است، لذا YSR خاک بزرگتر از OCR آن است. در این حالت پدیده‌های بندش (Thixotropy)، نیازنز و سیمان‌شدگی اتوزئیک، مقدار تنش تسلیم خاک را افزایش می‌دهند. منحنی تحکیم خاک بین ICL و SCL می‌افتد و به خط SCL نزدیکتر است. تفاوت YSR با OCR به‌اندکثر مقاومت اکتسلی خاک بر اثر تغییرات ساختاری است.

## خاک نوع ۷

این خاک فوق‌تحکیم یافته بوده ( $OCR > 1$ ) و YSR آن بزرگتر از یک است. ساختار خاک و حساسیت آن بعد از عمل رسوب‌گذاری، شکل گرفته است.

## خاک نوع ۸

خاک تحکیم عادی بوده و YSR آن معادل واحد است. در اثر شستشو، بسیاری از املاح خاک از محیط خارج می‌گردند. خاک در این وضعیت به صورت خاک سست، عمل می‌کند.

## ۵- طبقه‌بندی خاکهای ریزدانه رسی - سیلنتی جنوب تهران ۵-۱- روش‌ها و دستگاههای آزمایش

برای طبقه‌بندی خاکهای ریزدانه جنوب تهران، آزمایش‌های آزمایشگاهی جهت شناسایی خواص شاخص، ویژگی‌های ذاتی، مشخصات فیزیکی - شیمیایی و مکانیکی انجام شده است.

برای تهیه نمونه‌های دست نخورده آزمایشگاهی، بیش از ۱۵ گمانه بر بخش جنوبی تهران به روش حفاری نورانی حفر گردیده است. مجموع طول حفاری بیش از ۴۰۰ متر می‌باشد. نمونه‌های دست نخورده خاک از ژرفاهای مختلف و با استفاده از نمونه‌گیرهای شلیسی و PVC تهیه شده است. این حفاریها بر چهارچوب پروژه ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای جنوب تهران انجام و محل تقریبی گمانه‌ها بر شکل (۴) آورده شده است.

مطالعه تراکم‌پذیری خاکهای ریزدانه جنوب تهران با استفاده از دستگاه تحکیم استاندارد اصلاح شده، انجام گردیده است. این دستگاه قادر است تا  $16000 \text{ Kpa}$  تنش اعمال کند. با ترسیم منحنی‌های تحکیم، می‌توان تنش تسلیم خاکها را بدست آورد. برای تعیین وضعیت تحکیم یافتگی خاکها از مطالعات رسوب‌شناسی موجود در مورد تاریخچه حوضه رسوبی جنوب تهران استفاده شده است. برای مطالعه میزان سفتی خاکها نتایج آزمایشهای نفوذ استاندارد (SPT) در محل حفر گمانه‌ها منظر قرار گرفته است. همچنین برای بررسی ساختار خاک جنوب تهران، تعدادی آزمایش شیمیایی، XRF و مطالعه مقاطع نازک خاک با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) مطالعه شده‌اند. برای مانعیت از دست‌خوردگی ساختار خاک، ابتدا خاک توسط پمپ خلاء خشک گردیده است، سپس قطعه‌ای از خاک توسط طلا پوشش (Coating) داده شده است و توسط دستگاه SEM مطالعه گردیده است.

## ۵-۲- خواص شاخص خاکها

گستره جنوب تهران شامل رسوبهای ریزدانه رسی - سیلنی است که بر اثر فعالیت رودخانه‌ها و سیلابهای فصلی از زمان پلیوسن پسین از بخش ارتفاعات شمالی حمل شده و در بخش جنوبی نهشته شده‌اند. (جعفری و اصغری، ۱۳۷۶). این رسوبها به رنگ کرم و قهوه‌ای بوده و بر برخی از افق‌ها دارای گرهک‌های آهکی هستند. در شکل (۵) مقطع قائم لایه‌های خاک بر گمانه شماره ۱۲ نشان داده شده است. این خاکها براساس طبقه‌بندی یونیفاید از نوع CL بوده و به ندرت خاک CH، ML و CL-ML نیز یافت می‌گردند. برخی از ویژگیهای شاخص خاکهای جنوب تهران در جدول (۳) نمایش داده شده است.

## ۵-۳- سفتی خاک جنوب تهران

با مراجعه به شکل (۵) مشاهده می‌گردد که خاکهای جنوب تهران از نوع خاکهای بسیار سفت تا سخت می‌باشد. بر برخی از افق‌ها، در محل سایر گمانه‌ها خاکهای سفت نیز به ندرت مشاهده می‌گردند. چگالی این خاکها تا ۲۲ کیلو نیوتن بر متر مکعب می‌رسد و سرعت حفاری به علت سفتی خاک کند است.

## ۵-۴- وضعیت تحکیم یافتگی خاک جنوب تهران

اطلاعات رسوبشناسی موجود در خصوص وضعیت تحکیم یافتگی خاکهای جنوب تهران چندان کافی و روشن نمی‌باشد. برخی از شواهد فوق تحکیم یافتگی ( $OCR > 1$ ) خاک جنوب تهران را اثبات می‌کنند. با توجه به سیلابی و فصلی بودن رسوب گذاری، احتمال وجود فرسایش در نهشته‌های جنوب تهران وجود دارد. وجود دوره‌های فرسایشی بر رسوبهای آبرفتی جنوب تهران گزارش شده است. به عنوان مثال رسوبات ریزدانه C بعد از یک دوره فرسایشی بر روی رسوبات B قرار گرفته‌اند (جعفری و اصغری، ۱۳۷۶)

عملکرد گسله‌های کواترنر جنوب تهران نیز باعث جابجایی رسوبها گردیده است. به عنوان مثال گسله‌های کهریزک، جنوب ری و شمال ری باعث بالا آمدگی (uplifting) خاکها گردیده است. گسله کهریزک با برآزی ۴۰ کیلومتر و راستای خاوری - باختری باعث رانندگی خاک رسی و سیلنی کهریزک بر روی آبرفتهای D شده است. (بربرهان و همکاران، ۱۳۶۴)

## ۵-۵- وضعیت نسبت تنش تسلیم

برای یافتن تنش تسلیم خاکها، آزمایش‌های تحکیم تا فشار ۱۶۰۰۰ Kpa انجام شده است مقابله تنش مؤثر خاکهای جنوب تهران با داشتن ژرفای سطح آب زیرزمینی و مقابله چگالی دانسته مرطوب خاکها بدست آمده است. تغییرات تنش تسلیم بر برخی از گمانه‌ها بر ژرفای مختلف نشان داده شده است (جدول شماره ۴). فرآیندهایی از قبیل نیازنز برآز مدت، خشک شدن، تحکیم ثانویه و سیمان‌شدگی می‌تواند مقدار نسبت تنش تسلیم خاک را افزایش دهد و برعکس پدیده‌هایی چون هوازیگی، اکسیداسیون خاک، نابرجایی (reworking) از جمله عواملی هستند که نسبت تنش تسلیم خاک را کاهش می‌دهند. هر دو بسته فرآیند پانده در خاکهای ریزدانه تهران مشاهده می‌گردند. پدیده خشک شدن (Desiccation) و تغییرات رطوبت در بخش سطحی خاکهای ریزدانه تهران، نوسانات سطح آب زیرزمینی، اکسیداسیون خاک (رنگ قهوه‌ای و آجری خاکهای ریزدانه) از جمله شواهدی هستند که بر مقدار YSR اثر می‌گذارند. همچنین نمونه‌های دستی خاکها بر بخش سطحی دارای ترکهای ریز (Fissure) می‌باشد. مطالعات انجام شده توسط جعفری و اصغری (۱۳۷۶) نشان دهنده وجود یک لایه کم سرعت در بخش فوقانی خاکهای جنوب تهران است. سبب برای این بخش متغیر و در برخی از نقاط تا ۲۰ متر هم می‌رسد. سرعت سیر امواج برشی در این بخش حداکثر ۱۸۰ متر بر ثانیه می‌باشد در حالیکه بر افق‌های غیرهوازده سرعت تا ۸۰۰ متر بر ثانیه نیز می‌رسد (شکل ۶). خاکهای ریزدانه جنوب تهران توسط کربنات کلسیم سیمانی شده‌اند که در بخش ۶-۶ شرح داده می‌شود. سیمانی شدن باعث افزایش YSR خاک گردیده است.

## ۵-۶- ساختار خاک جنوب تهران

تعدادی آزمایش شیمیایی جهت تعیین درصد کربنات کلسیم موجود در خاک با استفاده از محلول یک نرمال اسید کلریدریک و با روش تیتراسیون برموتیمول انجام شد که نتایج آزمایش نشان دهنده حداقل ۱۷/۱ درصد کربنات کلسیم بر گمانه شماره ۱۰ و در ژرفای ۲۷/۴۵ متری می‌باشد. حداکثر مقدار کربنات کلسیم به این روش در گمانه شماره ۱۰ و بر ژرفای ۵۲ متری به مقدار تقریبی ۲۷/۵۲ درصد مشاهده شده است. از سوی دیگر تعدادی آزمایش XRF انجام شده است که به عنوان شاهد، نتیجه آزمایش بر روی نمونه خاک بر گمانه شماره ۶ و ژرفای ۸ متری در جدول (۵) نشان

- خاکهای ریزدانه رسی براساس نسبت پیش تحکیم‌یافتگی، نسبت تنش تسلیم و سستی و سفتی آنها به ۸ دسته تقسیم شده‌اند که هر دسته دارای رفتار تراکم‌پذیری مشابهی هستند.

- باتوجه به پیش تحکیم یافتگی خاک جنوب تهران و معادل بودن YSR با OCR، این خاکها از نوع خاک ۴ می‌باشند، که در برخی از افق‌ها به علت سیمان شنگی بین نژات خاک و پدیده خشک شنگی، مقادیر  $YSR > 1$  می‌باشند، لذا در این افق خاکها از نوع خاک ۷ هستند.

- ساختار خاک ریزدانه جنوب تهران از پدیده هوازدگی به شدت متأثر میباشد، به نحوی که اثر پدیده اکسیداسیون، خاکهای بخش سطحی به رنگ قهوه‌ای و کرم مشاهده می‌شود و سرعت سپرآمواج برشی بسیار کمتر از اعماق است.

- مطالعه مقاطع قائم و افقی خاک ریزدانه جنوب تهران، نشان دهنده فابریک تصادفی و فلوکوله خاک می‌باشد.

- با توجه به تاریخچه زمین‌شناسی و ساختار خاک جنوب تهران، معیارهای ارائه شده توسط Burland (1990) ، Chandler (2000) برای ارزیابی ساختار خاکها، در مورد خاک جنوب تهران، باواقعیات سازگار است.

### سپاسگزاری

بدینوسیله از آقای شفیع که در انجام آزمایشهای آزمایشگاهی ما را یاری نموده و همچنین از مسئولین محترم آزمایشگاههای مختلف دانشگاه تربیت مدرس که ما را در انجام آزمایشها و فراهم آوردن امکانات یاری رسانند، تشکر و قدردانی می‌گردیم.

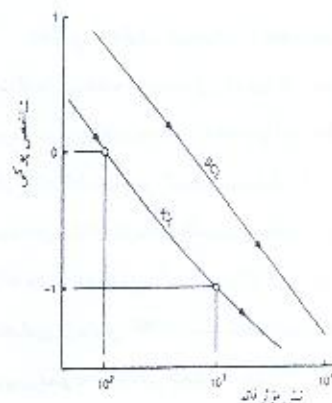
دانه شبیه است. همانطور که مشاهده می‌گردد درصد اکسید کلسیم و اکسیدهای فلزی مانند اکسید آهن بالا بوده و مؤید نتایج آزمایشهای شیمیائی است. با توجه به این نکته که در نمونه‌های دستی در برخی از اعماق گرهکهای آهنی مشاهده شده بود، لذا برای بررسی نحوه توزیع کربنات کلسیم در خاک، مقاطع نازکی از خاک تهیه و توسط میکروسکوپ پلاریزان مطالعه شد. برای تشخیص کربنات کلسیم و نحوه توزیع آن از محلول آلبرازین برای رنگ آمیزی خاک استفاده شده است. شکل‌های (۷) نشان دهنده توزیع سیمان کلسیمی در بین نژات خاک هستند. همچنین اکسیدهای آهن نیز به مقدار قابل ملاحظه‌ای در آنالیز شیمیائی خاک به روش XRF و SEM مشاهده شده است. برای مطالعه فابریک خاک مطالعاتی بر روی مقاطع قائم و افقی لایه‌های خاک انجام شده است.

### ۷-۵- رده بندی خاک جنوب تهران

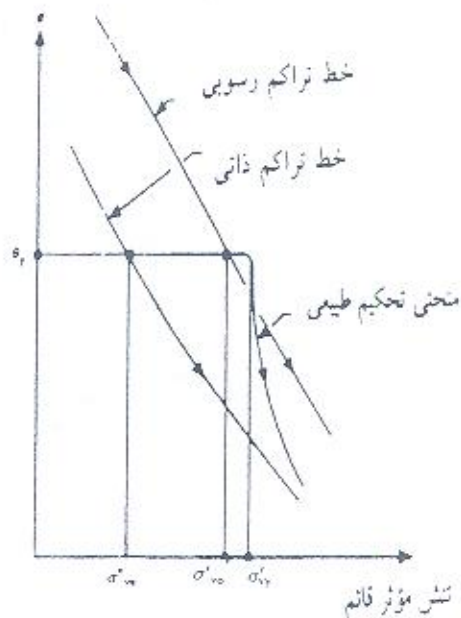
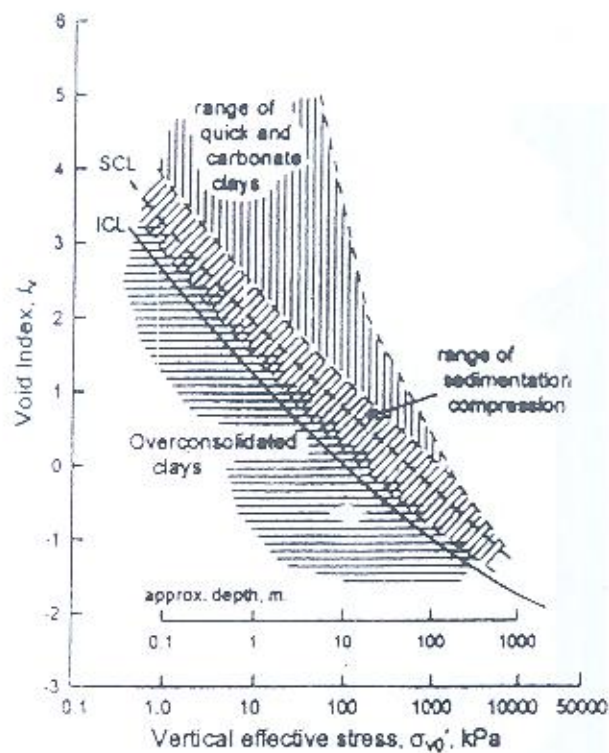
با توجه به یافته‌های یادشده در بالا و با مراجعه به جدول (۲) خاکهای تهران می‌تواند به صورت خاکهای نوع ۴، ۷ دیده شود. موقعیت برجای اکثر خاکها در سمت چپ خط ICL می‌افتد، لذا خاک فوق تحکیم‌یافته است. منحنی برخی از خاکها در بین خط SCL و ICL می‌افتد. این خاکها ممکن است به صورت تحکیم عادی یا فوق تحکیم یافته باشند. همچنین در برخی از افق‌ها که درصد کربنات کلسیم بالاست. برای مثال در ژرفای ۵۲ متری در گمانه شماره ۱۰، منحنی تحکیم خاک خط SCL را قطع می‌کند (شکل ۱۰).

### ۶- نتیجه‌گیری

- طبقه‌بندی ساختاری خاکهای ریزدانه رسی قابل است ارتباط بین ساختار خاک، فرآیندهای زمین‌شناسی و تراکم‌پذیری خاک را نشان دهد.

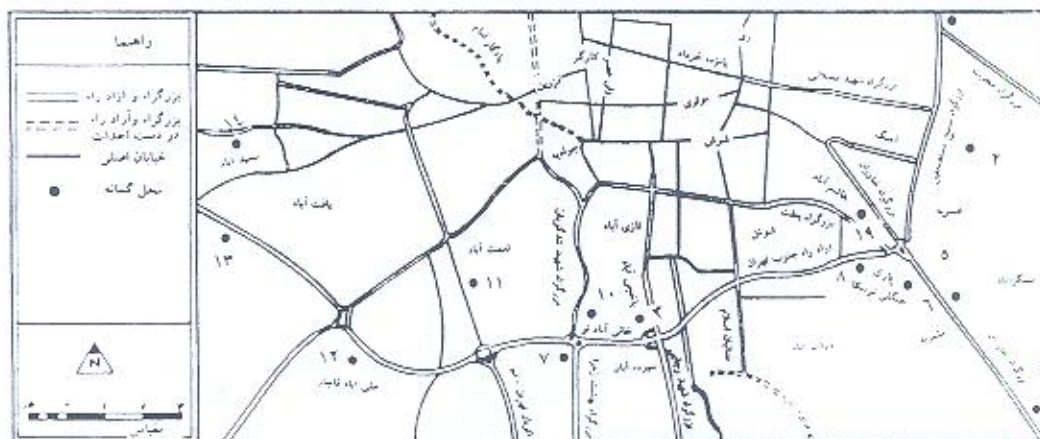


شکل ۱- موقعیت خطوط تراکم رسی و ذاتی برحسب شاخص پوکی



شکل ۳- حالات تنش برحسب شاخص پوکی برای انواع مختلف رسها (Chandler, 2000)

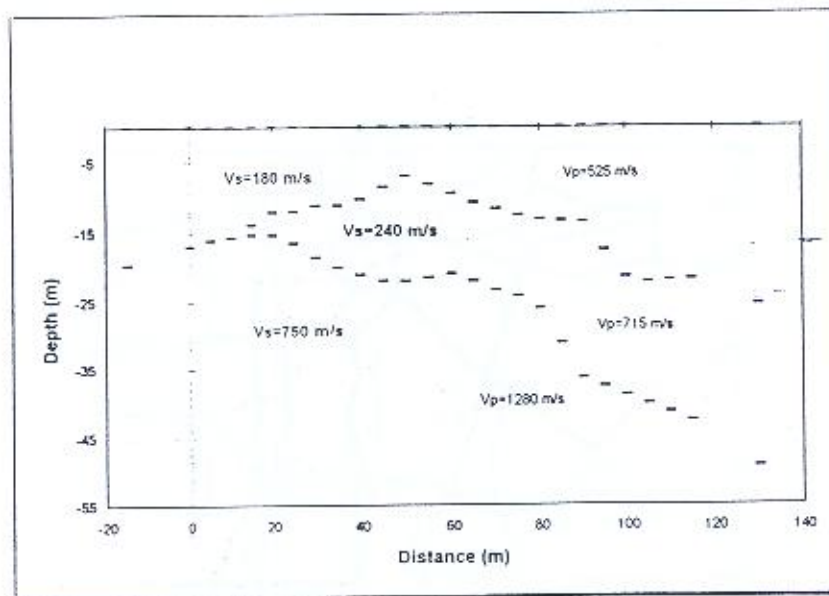
شکل ۲- مورفیت خطوط تراکم رسوبی و ذاتی و منحنی تحکیم طبیعی خاکها



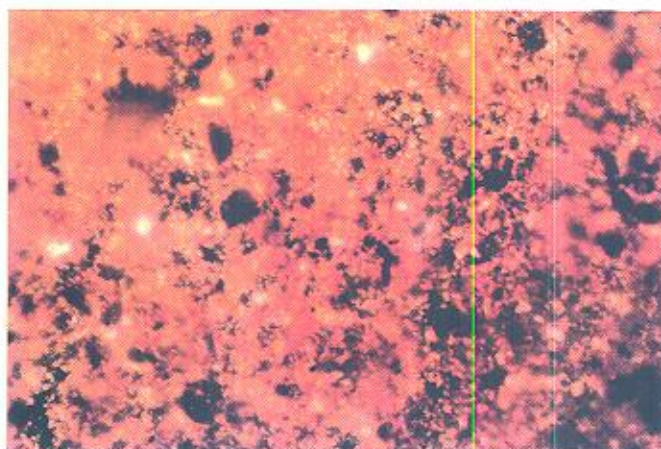
شکل ۳- نقشه موقعیت گمانه‌ها

| عمق گمانه<br>متر | تشریح لایه های<br>تحت الارضی                                | نوع      | براهم سر (DR) |    |    |     |    | سرعت سنجی (Spt) |     |     |  |
|------------------|---|----------|---------------|----|----|-----|----|-----------------|-----|-----|--|
|                  |   |          | 70            | 80 | 90 | 100 | 1  | 15              | 30  | 45  |  |
| 0                | رس سیلتی قهوه ای تیره                                       | خیلی سفت |               |    |    |     | 1  | 15              | 30  | 45  |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 2  | 17              | 34  | 51  |  |
|                  |   | سفت      |               |    |    |     | 3  | 19              | 38  | 57  |  |
|                  |   | سفت      |               |    |    |     | 4  | 21              | 42  | 63  |  |
| 10               | رس سیلتی همراه با گراولهای آهکی                             | سفت      |               |    |    |     | 5  | 23              | 46  | 69  |  |
|                  |   | سفت      |               |    |    |     | 6  | 25              | 50  | 75  |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 7  | 27              | 54  | 81  |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 8  | 29              | 58  | 87  |  |
| 20               | رس سیلتی قهوه ای تیره                                       | سفت      |               |    |    |     | 9  | 31              | 62  | 93  |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 10 | 33              | 66  | 99  |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 11 | 35              | 70  | 105 |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 12 | 37              | 74  | 111 |  |
|                  | ماسه خاکستری تیره   | خیلی سفت |               |    |    |     | 13 | 39              | 78  | 117 |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 14 | 41              | 82  | 123 |  |
| 30               | رس سیلتی قهوه ای تیره همراه با شنزاری ماسه ریز دانه         | خیلی سفت |               |    |    |     | 15 | 43              | 86  | 129 |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 16 | 45              | 90  | 135 |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 17 | 47              | 94  | 141 |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 18 | 49              | 98  | 147 |  |
|                  |   | سفت      |               |    |    |     | 19 | 51              | 102 | 153 |  |
| 40               | رس سیلتی همراه با شنزاری ماسه بزرگ قهوه ای                  | سفت      |               |    |    |     | 20 | 53              | 106 | 159 |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 21 | 55              | 110 | 165 |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 22 | 57              | 114 | 171 |  |
|                  |   | خیلی سفت |               |    |    |     | 23 | 59              | 118 | 177 |  |
|                  |   | سفت      |               |    |    |     | 24 | 61              | 122 | 183 |  |
| 50               | عقیق از ماسه ریز دانه همراه با سیلت قهوه ای مایل به خاکستری | سفت      |               |    |    |     | 25 | 63              | 126 | 189 |  |

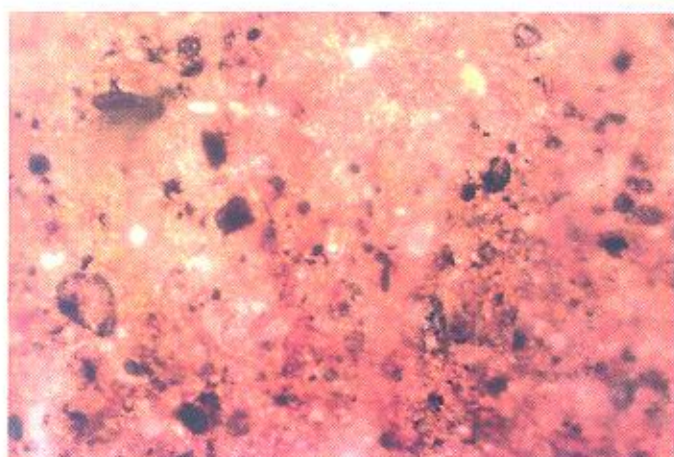
شکل ۵- مقطع قائم لایه های خاک در گمانه ۱۲



شکل ۶- تغییرات سرعت سیر امواج برشی در خاکهای ریزدانه جنوب تهران



الف



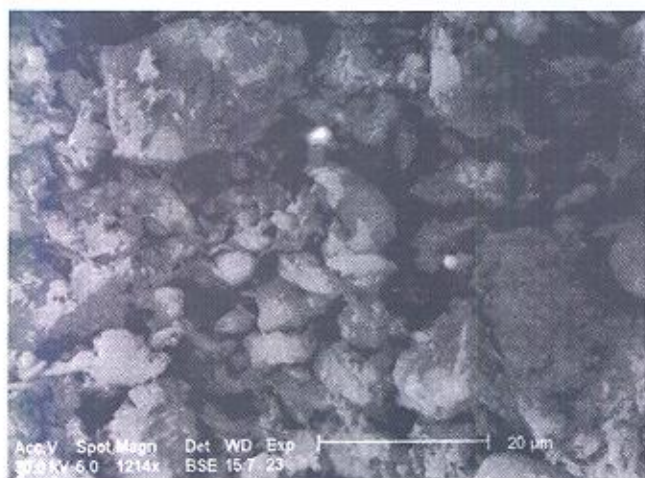
ب

شکل ۷- مقاطع نازک خاک رنگ آمیزی شده با محلول آلیزارین (بخش سرخ رنگ نشان دهنده سیمان کلسیتی است)

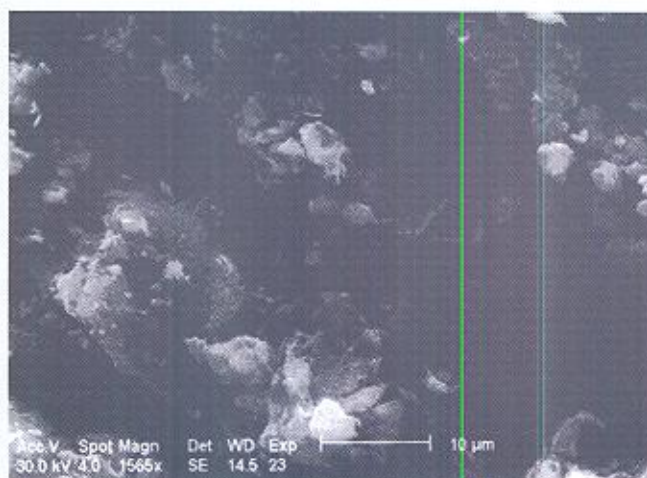
الف - سیمان کلسیتی به رنگ لکه‌های قرمز (نور پلاریزه - بزرگنمایی ۴۰۰)

گمانه ۱۰ - عمق ۷/۷۵ متری

ب - همان تصویر در نور عادی



ب

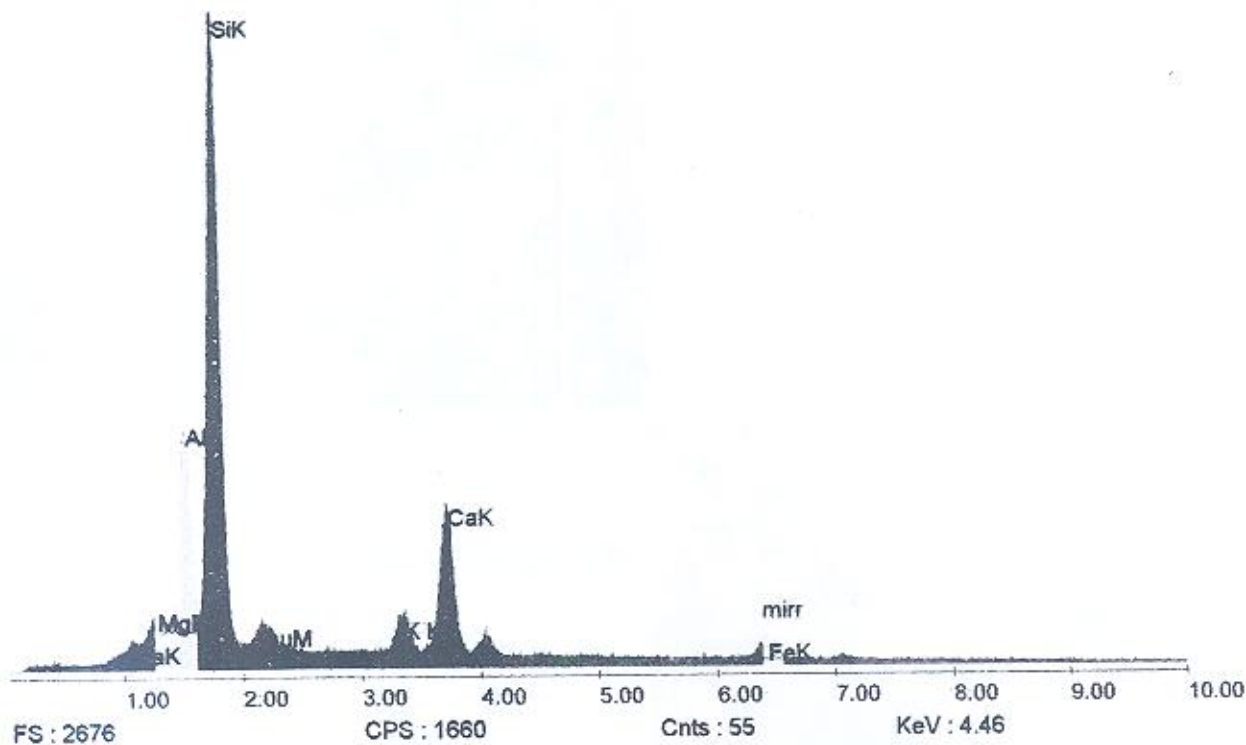


الف

شکل ۸- فابریک فولکوله و تصادفی خاکهای ریزدانه جنوب تهران

ب - مقطع افقی

الف - مقطع قائم



Done Collecting

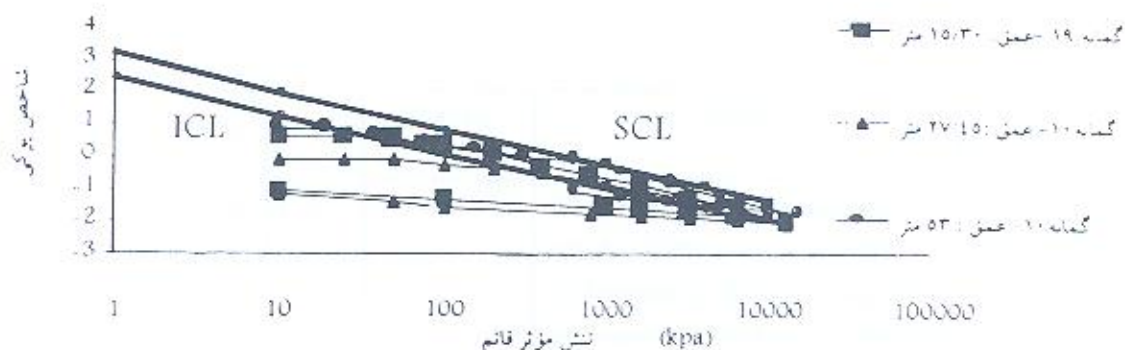
ZAF Quantification Method  
Oxides

| Element | K Ratio | Weight % | Atomic % |
|---------|---------|----------|----------|
| NaK     | 0.0038  | 1.011    | 1.352    |
| MgK     | 0.0137  | 3.188    | 4.031    |
| AlK     | 0.0757  | 16.044   | 18.278   |
| SiK     | 0.2531  | 55.794   | 61.061   |
| AuM     | 0.0274  | 3.255    | 0.508    |
| K K     | 0.0271  | 2.707    | 2.128    |
| CaK     | 0.1129  | 12.631   | 9.687    |
| FeK     | 0.0465  | 5.370    | 2.955    |
| Total   |         | 100.000  | 100.000  |

| Element | Net Inten | Background | P/B   |
|---------|-----------|------------|-------|
| NaK     | 6.12      | 19.57      | 0.31  |
| MgK     | 22.90     | 30.92      | 0.74  |
| AlK     | 145.57    | 34.20      | 4.26  |
| SiK     | 481.43    | 32.84      | 14.66 |
| AuM     | 19.39     | 26.16      | 0.74  |
| K K     | 36.82     | 15.24      | 2.41  |
| CaK     | 131.67    | 15.02      | 8.77  |
| FeK     | 25.37     | 8.88       | 2.86  |

شکل ۹- تایپ آنالیز شیمیایی خاک جنوب تهران با استفاده از دستگاه SEM



شکل ۱۰- نتایج آزمایشهای تحکیم نمونه‌های طبیعی بر حسب شاخص پوکی خاک

|                      | گروه ۱  | گروه ۲  |
|----------------------|---|---|
| فرایندهای زمین شناسی | <p><b>"فرایندهای حین رسوبگذاری و تراکم بکر خاک"</b></p> <p>مجموع شدن (Flocculation)، پراکندگی (Dispersion)، سیمان شدگی (Cementation)، دیاژنز (Diagenesis)</p> <p>حین تراکم اولیه خاک ریز دانه</p> | <p><b>"فرایندهای بعد از تراکم بکر خاک"</b></p> <p>بندش (Thixotropy)، دیانترس دراز مدت خاک، سیمان شدگی اتوژنیک (Authigenic)، هوا زدگی، باربرداری زمین شناسی، شستشوی خاک (Leaching)، فرسایش، نابرجائی خاک (Reworking)، نوسانات سطح آب زیر زمینی، خشک شدگی (Desiccation)، اکسیداسیون، تحکیم ثانویه (Aging)</p> |
| ساختارها             | <p>ساختار رسوبی (Sedimentation Structure)</p> <p>ساختار بعد از رسوبگذاری (تلفیقی از فرایندهای گروه ۱ و ۲) (Post Sedimentation Structure)</p>  |   |
| حساسیت               | حساسیت رسوبی  | حساسیت حاصل از فرایندهای گروه ۲   |
|                      | حساسیت بعد از رسوبگذاری (تلفیقی از فرایندهای گروه ۱ و ۲)  |   |

جدول ۱- فرایندهای زمین شناسی مؤثر بر ساختار خاکها

| رس                          | نوع | OCR         | YSR/OCR     | نوع ساختار                    | توضیحات  | حساسیت<br>(در قله تسلیم در تراکم تک بعدی) |
|-----------------------------|-----|-------------|-------------|-------------------------------|--|---|
| خاک رس سفت                  | ۱   | $\approx 1$ | $\approx 1$ | ساختار رسوبی                  | خاک NC یا دارای OC ضعیف است. فرآیندهای گروه آ باعث تشکیل ساختار خاک و خط SCL میگردند. در حالت بر جا منحنی نهگیم خاک به خط SCL نزدیک است و<br>$\sigma'_v = \sigma'_p = \sigma'_h$ | حساسیت رسوبی                              |
|                             | ۲   | $> 1$       | $\approx 1$ | ساختار بعد از رسوبگذاری اولیه | خاک OC با برابری زمین شناسی باعث ایجاد تغییرات ساختاری در ساختار اولیه می گردد. $\sigma'_v$ بر روی خط SCL فرار میگیرد و<br>$\sigma'_p = \sigma'_h$                               | حساسیت رسوبی                              |
| خاک رس سفت، بسیار سفت و سخت | ۳   | $\approx 1$ | $\approx 1$ | ساختار رسوبی                  | خاک NC در فشار بالای $\sigma'_v$ در تراکم بکر تحت اثر دیانز فرار می گیرد $\sigma'_v$ نزدیک به خط SCL است و $\sigma'_p = \sigma'_h$   | حساسیت رسوبی                              |
|                             | ۴   | $> 1$       | $\approx 1$ | ساختار بعد از رسوبگذاری اولیه | خاک OC تحت فشار بالای $\sigma'_v$ مشابه حالت ۳، فقط با برابری زمین شناسی باعث ایجاد تغییرات ناچیز ساختاری در ساختار اولیه میگردد.  | حساسیت رسوبی                              |
|                             | ۵   | $\approx 1$ | $> 1$       | ساختار رسوبی                  | خاک NC سیمانی شده در حین رسوبگذاری اولیه، $\sigma'_v$ بر روی خط SCL فرار میگیرد اما $\sigma'_h > \sigma'_p = \sigma'_v$ خواهد بود  | حساسیت رسوبی                              |
|                             | ۶   | $\approx 1$ | $> 1$       | ساختار بعد از رسوبگذاری اولیه | خاک NC، تحت اثر فرآیندهای گروه ۲ و تحت فشار سر بار فرار گرفته است.   | حساسیت بعد از رسوبگذاری اولیه             |
| خاک رس سفت، بسیار سفت و سخت | ۷   | $> 1$       | $> 1$       | ساختار بعد از رسوبگذاری اولیه | خاک OC، تحت انسر فرآیندهای گروه ۲ و با برابری زمین شناسی فرار گرفته است.   | حساسیت بعد از رسوبگذاری اولیه             |
|                             | ۸   | $\approx 1$ | $\approx 1$ | ساختار بعد از رسوبگذاری اولیه | خاک NC، فرآیند نشست بعد از تراکم اولیه خاک عمل می کند.   | حساسیت بعد از رسوبگذاری اولیه             |

جدول ۲- طبقه بندی ساختاری رسها



| عمق (m) | درصد رطوبت | دانشیته مرطوب ( $\text{KN/m}^3$ ) | حد روانی (LL) | شاخص خمیری ( $I_p$ ) | وزن مخصوص (Gs) | رده خاک | درصد مواد آلی |
|---------|------------|-----------------------------------|---------------|----------------------|----------------|---------|---------------|
| ۵/۵     | ۱۶         | ۲۰/۲۸                             | ۳۵            | ۱۵                   | ۲/۷۴           | CL      | ۲/۳۲          |
| ۶/۳     | -          | ۲۰/۳                              | ۳۸            | ۱۴                   | ۲/۷۳           | CL      | ۳/۷۱          |
| ۷/۵     | -          | -                                 | ۵۷            | ۳۹                   | ۲/۷۴           | CH      | -             |
| ۸/۵     | -          | ۲۱/۱۹                             | ۳۵            | ۱۷                   | ۲/۷۴           | CL      | ۴/۴۳          |
| ۱۰/۳    | ۱۶/۸       | ۲۰/۴۰                             | ۳۳            | ۱۴                   | ۲/۷۴           | CL      | -             |
| ۱۳      | ۲۵/۴       | ۱۹/۴۲                             | ۳۵            | ۱۶                   | ۲/۷۴           | CL      | ۲/۹۶          |
| ۱۴/۵    | -          | ۲۱/۰                              | ۳۲            | ۱۳                   | ۲/۶۷           | CL      | -             |
| ۱۵/۰    | ۲۳         | -                                 | ۳۲            | ۱۲                   | ۲/۶۷           | CL      | -             |
| ۱۵/۷    | -          | ۲۱/۵۰                             | -             | -                    | -              | -       | ۲/۵۳          |
| ۱۸/۵    | -          | ۲۲/۴۶                             | ۴۱            | ۲۱                   | ۲/۶۷           | CL      | ۱/۹۵          |
| ۲۰/۵    | ۱۹/۶       | ۱۸/۵۳                             | ۴۲            | ۲۴                   | ۲/۶۷           | CL      | ۳/۵           |
| ۲۸      | ۱۶/۹       | ۱۹/۹۶                             | ۳۳            | ۱۲                   | ۲/۶۸           | CL      | -             |
| ۳۴/۳    | -          | ۲۰/۳۴                             | -             | -                    | -              | -       | -             |
| ۴۰      | ۲۱/۶       | ۲۰/۵۳                             | ۳۸            | ۲۰                   | ۲/۷۴           | CL      | ۳/۷۱          |
| ۵۳      | ۲۹/۲       | ۱۹/۰۳                             | ۳۸            | ۱۱                   | ۲/۷۴           | CL      | -             |
| ۵۷      | ۲۴/۵       | ۲۰/۷۱                             | ۴۹            | ۱۸                   | ۲/۷۴           | CL      | -             |

جدول ۳- ویژگیهای شاخص خاکهای جنوب تهران در محل گمانه شماره ۱۰



| YSR | عمق (متر) | شماره گمانه |
|-----|-----------|-------------|
| ۱/۱ | ۸/۵       | ۶           |
| ۱/۹ | ۱۳/۳      | ۶           |
| ۱/۰ | ۱۶        | ۶           |
| ۱/۰ | ۱۹        | ۶           |
| ۱/۰ | ۱۷/۵      | ۷           |
| ۱/۵ | ۱۰        | ۱۰          |
| ۱   | ۱۲/۵      | ۱۰          |
| ۱   | ۲۷/۷      | ۱۰          |
| ۱/۳ | ۵۳/۰      | ۱۰          |
| ۱/۴ | ۱۴/۵      | ۱۹          |
| ۴/۳ | ۱۵/۰      | ۱۹          |
| ۶/۶ | ۳/۰       | ۹           |

جدول ۴- تغییرات نسبت تنش تسلیم در گمانه‌ها و اعماق مختلف

#### Concentrations of sample

|   | Compound                       | Conc. (%) | Compound         | Conc. (%) | Compound                       | Conc. (%) | Compound | Conc. (%) | Compound | Conc. (%) |
|---|--------------------------------|-----------|------------------|-----------|--------------------------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| 1 | Na <sub>2</sub> O              | 0.696     | SO <sub>3</sub>  | 0.149     | Mn                             | 0.127     | Zn       | <<        | Y        | <<        |
| 2 | MgO                            | 2.773     | K <sub>2</sub> O | 2.416     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.451     | Ga       | <<        | Zr       | 0.019     |
| 3 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13.239    | CaO              | 22.157    | Co                             | <<        | As       | <<        | Pb       | <<        |
| 4 | SiO <sub>2</sub>               | 53.226    | TiO <sub>2</sub> | 0.524     | Ni                             | <<        | Rb       | <<        | H76C38O4 | F25       |
| 5 | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.183     | Cr               | <<        | Cu                             | <<        | Sr       | 0.039     |          |           |

جدول ۵ - نتایج آزمایش XRF بر روی خاک جنوب تهران (گمانه ۶ عمق ۸ متر)

## کتابنگاری

جعفری، محمد کاظم و اصغری، ابراهیم، ۱۳۷۶، ریزپهنه بندی ژئوتکنیک لرزه ای جنوب غربی تهران از دیدگاه تأثیرات ساختمانی، جلد ۱، مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله  
بریریان، م، قریشی، م، ارژنگ روش، ب، مهاجر اشجعی، ا، ۱۳۶۴، پژوهش و بررسی ژرف تو زمین ساخت، خطر زمین لرزه، گسلش در گستره تهران و پیرامون، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره ۵۶

## References

- Burland, J.B. (1990)- On the compressibility and shear strength of natural clays. *Geotechnique*, 40, 329-378.
- Chandler, R.J. (2000)- Clay sediments in depositional basins: the geotechnical cycle. *Quarterly journal of engineering geology and hydrogeology*, 33, 7-39.
- Lambe, T.W. (1951)- *Soil testing for engineers*, New York, John Wiley and Sons.
- Leroueil, s. et al (1985)- Strees-Strain- Strain rate relation for the compressibility of sensitive natural clays. *Geotechnique* 35, No.2, 159-180.
- Leroueil, s. & Vaughan, P.R. (1990)- The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks. *Geotechnique* 40, No.3, 467-488.
- Mitchell, j.k. (1976)- *Fundamentals of soil behaviour*. New York, John Wiley and Sons.
- Mitchell, j.k. & Solymar, Z.V. (1984). Time-dependent strength gain in freshly deposited or densified sand. *J. Geotech. Div., Am. Soc. Civ. Engrs* 110, Gt11, 1559-1576.
- Sides, G. & Barden, L. (1970). The micro structure of dispersed and flocculated samples of kaolinite, illite and montmorillonite. *Can. Geotech.*

\* پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله  
\*\* مهندسين مشاور پی کاو، تهران، ایران  
\*\*\* گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس

\* Dept. of Geotechnic, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

\*\* Paycav Consulting Engineers Company

\*\*\* Dept. of Geology, Faculty of Science, University of Tarbiat Modarres.