ویژگیهای زمین شناسی مهندسی آبرفتهای درشت دانه و سیمانی شده تهران

نوشته: دکتر سید محسن حائری*،دکتر سید شهاب الدین یثربی**، دکتر علی ارومیه ای** و دکتر ابراهیم اصغری**

Engineering geology aspects of cemented coarse grained alluvium of Tehran

By: Dr. S. M. Haeri*,Dr. S. Yasrebi**,Dr. A. Uromeihy** and Dr. E. Asghari**

چکیده

آبرفتهای درشت دانه که در قسمتهای شمالی تهران و پیرامون آن گسترش دارند، با گذشت زمان و رسوب املاح آبهای زیرزمینی، کم و بیش سیمانی شده و به مقدار قابل ملاحظه‌ای بر مقاومت آنها افزوده شده است. میزان سیمانی شدن آنها برحسب بافت اولیه آبرفت، جنس و شکل ذرات، سن زمین شناسی، وضعیت آبهای زیرزمینی، عوامل تکتونیکی، ژرفا و هوازدگی تغییر می کند. از آنجائی که سیمانی شدن بر مقاومت و سفتی خاک افزوده و رفتار خاک تحت بارگذاری و باربرداری را متاثر می‌سازد، از نظر زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک حائز اهمیت است.

در این مقاله ضمن بررسی اجمالی فرایند سیمانی شدن آبرفتهای تهران، نوع و مقدار سیمان موجود و تاثیر آن بر مقاومت آنها مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعات نشان می‌دهد که سیمانی شدن آبرفتهای تهران اغلب ثانویه بوده و به مرور زمان در اثر نهشته شدن املاح شیمیائی از آبهای زیرزمینی و تراکم رسوبات بوجود آمده‌اند. جنس این مواد سیمانی بطور عموم کربناتی و به ویژه کلسیتی است . تاثیر سیمانی شدن بر ویژگیهای مکانیکی آبرفتهای درشت دانه تهران ارتباط مستقیمی با بافت اولیه آنها دارد. سیمان کربناتی در رسوباتی که مواد ریز دانه کمتر از حدود ۱۵ درصد دارند، ذرات درشت خاک را بطور مستقیم به یکدیگر متصل می‌سازد ولی در شرایطی که مواد ریز دانه آنها بیش از این مقدار باشد، خود مواد ریز دانه بصورت خمیره‌ای ذرات درشت را فرا گرفته و در نتیجه مقاومت خاک بیشتر تحت تاثیر خصوصیات مواد ریز دانه قرار می گیرد.

نتایج آزمونهای درجا و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که سیمانی شدن موجب افزایش مقاومت و سفتی خاک شده و رفتار خاک در موقع گسیختگی را از حالت خمیری به حالت شکننده تغییر می‌دهد. همچنین با افزایش سیمانی شدن پوش گسیختگی خاک انحنا بیشتری پیدا می کند.

واژه های کلیدی: آبرفتهای تهران، چسبندگی خاک، خاک درشت دانه، رفتار خاک، سیمانی شدن

Abstract

The coarse-grained alluvium of Tehran area has undergone cementation processes through the time that notably affects its strength. The rate of cementation is influenced by many factors including original texture, type and shape of grains, geological history, ground water conditions, tectonically pressures, depth and weathering processes. The main geotechnical features of the alluvium such as strength, stiffness, bearing capacity, and stability of slopes and underground excavation is directly related to the degree of cementation of this deposit.

This paper reviews the process of cementation of Tehran's alluvial deposit and considers the effect of cementation on the mechanical behaviour of the deposit. Cementing material of Tehran alluvium predominantly was deposited by groundwater. The composition of the cement material is carbonated and is mainly consisted of calcite. The original texture and gradation of the soil has a considerable effect on cementation process and strength. When the content of fine materials is less than about 15%, the cement material bonds directly the coarse grain particles. On the other hand, when the content of fine grains exceeds 15%, the contacts between coarse particles is dominantly by that material, so the strength of deposit is mainly affected by fine materials.

The results of in-situ and laboratory tests show that the cementation increases the strength and stiffness of soil, and changes the ductile behaviour of soil to brittle during shear. Moreover, the cementation increases the failure envelope curvature.

Key Words:Tehran alluvium, Soil cohesion, Coarse-grained soil, Soil behaviour, Cementation.

۱- مقدمه

شیب‌های تند و ترانشه های قائم و متعددی در آبرفت‌های درشت دانه تهران مشاهده می‌شود که برای مدتهای طولانی پایدار باقی می‌مانند. پایداری آنها بیشتر به اثر سیمانی شدن (Cementation) روی مقاومت برشی آنها نسبت داده می‌شود. احداث پی ساختمان‌ها و همچنین اجرای پروژه‌های زیرزمینی نیز متاثر از این افزایش مقاومت بوده به طوری که نشست ساختمان‌ها در اثر افزایش ظرفیت باربری خاک کم شده و پایداری فضاهای زیرزمینی بیشتر می‌شود.

امروزه با افزایش پروژه‌های بزرگ رو زمینی و زیرزمینی در تهران بزرگ، اهمیت توجه به خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی آنها بیشتر شده است، زیرا در صورت شناخت درست ویژگی‌های مهندسی آنها ضمن طراحی‌های بهینه و تامین ایمنی، ممکن است صرفه جوئی‌های قابل توجهی نیز در هزینه پروژه‌ها صورت گیرد.

در اصل تصور بر این است که خاک‌های درشت دانه که از آن به عنوان خاک غیر چسبنده نیز یاد می‌شود، دارای چسبندگی نبوده و مقاومت آنها تنها ناشی از اصطکاک بین دانه‌ای است. از طرف دیگر با توجه به دشواری تهیه نمونه دست‌نخورده از خاک‌های درشت دانه و سیمانی شده تهران، برآورد پارامترهای مقاومت برشی به‌طور معمول بر اساس نمونه‌های دست خورده صورت می‌گیرد که در این صورت اثر سیمانی شدن و ساختار خاک از بین رفته و مقدار چسبندگی ناچیز برآورد می‌شود. به‌طور معمول دو عامل یاد شده موجب می‌شود که در طراحی بیشتر پروژه‌ها، پارامتر چسبندگی خاک نادیده گرفته شود.

در این مقاله ضمن مروری بر ویژگی های آبرفت‌های درشت دانه و سیمانی شده تهران، نتایج برخی از آزمایش‌های درجا و آزمایشگاهی انجام شده بر روی آبرفت‌های درشت دانه تهران ارائه شده است.

۲- مروری بر مطالعات موجود

مطالب منتشر شده زیادی در مورد ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و مکانیک خاک آبرفت‌های درشت دانه و سیمانی شده تهران در دسترس نمی‌باشد، گرچه در مطالعات ژئوتکنیک پروژه‌های بزرگ، آزمایش‌های متعددی صورت گرفته است. از طرف دیگر در گزارش‌های ژئوتکنیک در دسترس نیز توضیح کافی در مورد نحوه انجام و دقت آزمایش‌ها ارائه نشده و معمولاً اطلاعی در مورد میزان دقت نتایج آنها وجود ندارد. در متون علمی نیز به طور عموم مطالعات کمتری درباره ویژگی‌های خاک‌های درشت دانه سیمانی شده و بویژه خاک‌های شن و ماسه قلوه‌سنگ‌دار سیمانی شده دیده می‌شود. مطالعات موجود در این زمینه نیز اغلب بر روی خاک‌های ماسه‌ای با سیمان مصنوعی صورت گرفته است. در ادامه به نتایج برخی مطالعات انجام شده بر روی آبرفت‌های تهران و خاک‌های درشت دانه سیمانی شده اشاره شده است.

۲-۱- نتایج برخی مطالعات موجود بر روی آبرفت‌های سیمانی شده تهران

امینی(۱۳۷۳) براساس بررسی زمین‌شناسی آبرفت‌های تهران و مطالعات ژئوتکنیکی پروژه مترو تهران، خصوصیات ژئوتکنیکی آبرفت‌های تهران را متنوع بیان کرده است. ایشان به طور اجمالی نهشته‌های کواترنر دشت تهران را از شمال به جنوب به چهار بخش تقسیم کرده است. این بخش‌ها کم وبیش به صورت نوارهای خاوری - باختری هستند که به ترتیب از شمال به جنوب تهران گسترده شده‌اند. در بخش‌های شمالی، آبرفت‌ها از نوع شن و ماسه قلوه‌سنگ‌دار با وزن مخصوص زیاد تشکیل شده است. در بخش میانی نیز که به دو زیربخش درشت دانه و ریز دانه تفکیک شده، مقاومت و وزن مخصوص خاک نسبت به بخش‌های شمالی کمتر است. رسوبات بخش جنوبی نیز بیشتر از ریز دانه تشکیل شده است. در این مطالعه ضریب عکس‌العمل بستر (K_s) برای رسوبات بخش‌های شمالی حدود ۲۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب و برای آبرفت‌های درشت دانه بخش میانی بین ۲۵-۲/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب بیان شده است.

شرکت خدمات مهندسی مکانیک خاک(۱۳۷۳) در گزارش ژئوتکنیک پروژه تونل خیام، آبرفت‌های درشت دانه قسمت‌های میانی تهران را به دو دسته سیمانی شده و سیمانی نشده تقسیم کرده و مقدار چسبندگی متوسط آنها را به ترتیب ۰/٤ و صفر کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

توصیه کرده است. همچنین براساس منحنی آزمایش‌های بارگذاری صفحه به قطر ۳۰ سانتی‌متر، ضریب عکس‌العمل بستر آبرفت‌های سیمانی شده و نشده به ترتیب حدود ۹۰ و ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمده است.

شرکت خدمات مهندسی مکانیک خاک (۱۳۷۵) در گزارش ژئوتکنیک برج میلاد تهران، بر اساس آزمایش برش درجا مقدار چسبندگی آبرفت‌های سیمانی شده آن محل را ۲/۹۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری کرده است. همچنین منحنی آزمایش‌های بارگذاری صفحه به قطر ۳۰ سانتی‌متر، ضریب عکس‌العمل بستر آبرفت‌های مذکور را بین ۲۵ تا ۸۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب نشان داده است.

۲-۲- نتایج برخی مطالعات انجام شده بر روی خاک‌های سیمانی شده در سایر کشورها

بررسی‌های Saxena & Lastrico (1978) بر روی رسوبات ماسه‌ای سازند ویشن‌تاون (Vincentown) در ایالت نیوجرسی آمریکا نشان داده که سیمانی شدن آنها در اثر نهشته شدن مواد کلسیتی از آب‌های زیرزمینی بوجود آمده است. سیمانی شدن طبیعی معمولاً نه تنها در مقیاس بزرگتر نظیر توالی‌های رسوبی یک سازند همگن نیست، بلکه در مقیاس‌های کوچکتر نظیر یک نمونه دستی نیز یکنواخت نمی‌باشد. غیریکنواختی مزبور ناشی از نهشته شدن موضعی مواد کلسیتی می‌باشد. آنها با آزمایش بر روی نمونه‌های دست‌نخورده نتیجه گرفتند که در تغییر شکل‌های کم(کرنش کمتر از یک درصد) سیمانی شدن عامل اصلی مقاومت می‌باشد، ولی اثر مواد سیمانی کننده در تغییر شکل‌های بیشتر از بین رفته و مقاومت خاک اغلب از نوع اصطکاکی می‌شود.

مطالعات Clough et al.,(1981) بر روی خاک‌های ماسه‌ای نشان داده که رفتار خاک سیمانی شده تحت تاثیر مقدار سیمان، وزن مخصوص و فشار همه جانبه قرار دارد. آنها نتیجه گرفتند که در فشارهای همه‌جانبه کم، ماسه‌های سیمانی شده رفتار شکننده (Brittle) و در فشارهای همه جانبه بالا رفتار خمیری (Ductile) مشابه رفتار خاک غیرسیمانی از خود نشان می‌دهند. همچنین تاثیر سیمانی شدن در افزایش چسبندگی خاک زیاد بوده ولی تاثیر آن بر زاویه اصطکاک داخلی خاک قابل توجه نمی‌باشد.

نتایج بررسی‌های Lade & Overton (1989) بر روی نمونه‌های ماسه‌ای سیمانی شده با سیمان پرتلند نشان داده که پوش گسیختگی خاک‌های سیمانی شده منحنی شکل بوده و در فشارهای همه جانبه کم، سیمانی شدن سبب افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌شود.

مطالعات Coop & Atkinson(1993) بر روی ماسه‌های بطور مصنوعی سیمانی شده با گچ نشان داده است که مقدار زاویه اصطکاک داخلی خاک‌های سیمانی شده چند درجه بیشتر از زاویه اصطکاک خاک‌های غیرسیمانی بوده و رفتار خاک‌های سیمانی شده بعد از گسیختگی بصورت نرم شونده با کرنش (Strain softening) می‌شود

۳- فرایند سیمانی شدن خاک‌های درشت دانه

خاک‌های درشت دانه با گذشت زمان و در اثر نهشته شدن کربنات‌ها، هیدروکسیدها و مواد آلی، عوامل محیطی نظیر انحلال و رسوب بعضی مواد در نقاط تماس دانه‌ها، جوش خوردگی دانه‌ها در اثر فشار زیاد، تبلور مجدد برخی کانی‌ها در اثر هوازدگی و وجود لایه آب جذب شده در اطراف دانه‌ها، ساختار (Structure) پیدا کرده و بین ذرات پیوندهائی بوجود می‌آید (Leroueil & Vaughan 1990). به عقیده Barton(1993) ایجاد پیوند بین ذرات خاک درشت دانه مقدمه سنگ زائی(Diagenous) می‌باشد که در نهایت سبب تبدیل خاک درشت دانه به ماسه سنگ یا کنگلومرا می‌شود. مراحل دیاژنز خاک‌های درشت دانه، پیر شدگی(Aging)، سنگ شدگی ملایم و سخت شدگی (Induration) هستند. در مرحله سنگ شدگی ملایم بین ذرات خاک درشت دانه پیوندهائی بوجود می‌آید که مهمترین عوامل سازنده این پیوندها تراکم و قفل و بست دانه‌ای (Interlocking)، رشد دانه‌ها (Overgrowing)، سیمانی شدن و جوش خوردگی (Welding) هستند. در شکل ۱ موارد مذکور بطور شماتیک نشان داده شده است.

مهمترین عامل ظهور چسبندگی در خاک‌های درشت دانه، سیمانی شدن می‌باشد. گرچه در خاک‌های نیمه اشباع نیز چسبندگی ظاهری ضعیفی در اثر کشش سطحی بین ذرات دیده می‌شود که ممکن است در خاک‌های درشت دانه حاوی مواد ریز دانه، قابل توجه باشد. در سیمانی شدن خاک، بافت (Fabric) نقش اساسی بازی می کند. Sitar(1983) بافت را دربرگیرنده همه مشخصه‌های دانه‌بندی، شکل، جهت یابی و نحوه اتصال ذرات به یکدیگر و وجود یا عدم وجود مواد سیمانی کننده می‌داند. اتصال ذرات خاک درشت دانه در رسوب به سه صورت زیر دیده می‌شود:

الف- اتصال نقطه‌ای و طولی که در خاک‌های با دانه‌بندی یکنواخت و با اجزای گرد دیده می‌شود. موقعی که تراکم خاک کم است، اتصال نقطه‌ای ولی در تراکم‌های بالا اتصال به صورت طولی است.

ب- اتصال تقعر- تحدب یا قفل و بست بین دانه‌ای که بیشتر در خاک‌های با ذرات گوشه‌دار دیده می‌شود.

ج- اتصال بوسیله مواد خمیره یا بافت شناور که در رسوبات با دانه‌بندی گسسته (Gap graded) شایع بوده و در این حالت اجزای درشت به ندرت در تماس مستقیم بوده و اصطلاحاً در داخل مواد ریز دانه شناورند.

همان گونه که در شکل ۲ نشان داده شده، آرایش هندسی مختلف ذرات خاک باعث می‌شود که هر سه نوع بافت در خاک‌های درشت دانه متداول باشد. در بافت اتصال نقطه‌ای و طولی که اتصال ذرات درشت مستقیم است، پیوند بین ذرات بیشتر دراثر نهشته شدن مواد سیمانی از آب‌های زیرزمینی و یا عمل مونینگی ایجاد می‌شود. در این حالت پیوندهای ناشی از سیمانی شدن نقش مهمی در مقاومت خاک دارند. در بافت شناور مواد ریز دانه و سیمانی کننده، پر کننده خلل و فرج خاک بوده و تماس دانه‌ای کم می‌باشد، در این حالت خصوصیات مواد خمیره عامل اصلی کنترل کننده مقاومت خاک است. بافت مذکور در بیشتر رسوبات مخلوط شن، ماسه حاوی مواد ریز دانه دیده می‌شود.

سیمانی شدن می‌تواند موقع رسوبگذاری و یا بعد از آن در اثر نهشته شدن مواد شیمیائی یا تبلور مجدد بوجود آید. مواد سیمانی کننده متداول در خاک‌های درشت دانه، کربنات‌ها، سیلیس، آلومینوسیلیکات‌های آبدار(رس‌ها)، ژیپس و اکسیدهای آهن آبدار هستند. سیمانی شدن معمولاً در اثر دو عامل زیر بر مقاومت خاک می‌افزاید: الف- با ایجاد پوششی در اطراف و نقاط تماس دانه‌های درشت و ایجاد پیوندهای سیمانی، ب- با پر کردن فضاهای خالی و افزایش تراکم خاک. در خاک‌های درشت دانه، معمولا عامل اول سبب افزایش مقاومت شده لذا اغلب منظور از سیمانی شدن خاک‌های درشت دانه، این نوع می‌باشد.

٤- خلاصه‌ای از زمین شناسی آبرفت‌های تهران

نهشته‌های آبرفتی تهران که از ارتفاعات شمال تا دشت جنوب تهران گسترش دارند، به ترتیب سنی به چهارسری A ، B، C وD تقسیم بندی می‌شوند. پایه‌گذار این تقسیم بندی Rieben (1966) بوده و معتقد است که رسوبات تهران حاصل فعالیت رودخانه‌ها و سیلاب‌های فصلی جریان یافته از کوه‌های شمال تهران می‌باشند. پدرامی(۱۳۵۷) براین باور است که برخی قسمت‌های آبرفت‌های سری A و بیشتر آبرفت‌های سری B از نوع آبرفتی- یخرفتی بوده و به عبارت دیگر یخچال‌ها نیز در تشکیل آنها دخالت داشته‌اند. این آبرفت‌ها در مخروط افکنه‌های متعدد کنار هم رسوب کرده‌اند بطوری که در فواصل نزدیک به ارتفاعات از نوع درشت دانه (شن و ماسه همراه قلوه سنگ و قطعه سنگ) و در فواصل دور، از انواع رسی و سیلتی هستند. مهمترین ویژگی‌های مورد نظر آبرفت‌های درشت دانه تهران با استفاده از توضیحات بربریان و همکاران(۱۳٦٤) در شکل ۳ به طور خلاصه نشان داده شده است. آبرفت‌های سری A یا سازند هزار دره که قدیمی‌ترین و ضخیم‌ترین سری محسوب می‌شود، بطور عموم دارای درجات سیمانی شدن بالاتری بوده و حتی گاهی به طور موضعی تبدیل به کنگلومرا شده‌اند. تاثیر نیروهای تکتونیکی و ثقلی بر رسوبات سری A باعث شده که تراکم آنها بالا بوده و در برخی نقاط وزن مخصوص خشک بالاتر از ۲ گرم بر سانتی متر مکعب داشته باشند. ستبرای لایه بندی این آبرفت‌ها متغیر بوده و شیب لایه بندی آنها نیز در نقاط مختلف متفاوت است. مقدار شیب آنها در بیشتر مناطق شمال تهران حدود ۳۰ درجه است. گسترش تپه ماهوری این رسوبات در شمال تهران سبب شده که برای احداث بزرگراه‌ها، ترانشه‌های ژرفی حفر شوند. وجود چسبندگی بالا در این رسوبات سبب پایداری آنها در شیب‌های تند و ترانشه‌ها شده است(عکس ۱).

آبرفت‌های درشت دانه سری B که آبرفت‌های ناهمگن شمال تهران نیز نامیده شده‌اند دارای ناهمگنی بیشتری بوده ولی گسترش آنها به نسبت محدود است. آبرفت‌های سری C نیز با گسترش به نسبت زیاد در قسمت‌های میانی تهران، از نظر دانه‌بندی کم و بیش همگن می‌باشند. این آبرفت‌ها سیمانی شدن ضعیف‌تری را پشت سر گذاشته‌اند ولی همین سیمانی شدن ضعیف نیز موجب پایداری این رسوبات می‌شود. در عکس۲ نمونه‌ای از دیواره‌های عمودی یک گودبرداری که به مدت چندین سال پایدار مانده نشان داده شده است. آبرفت‌های سری D که تنها در سطح زمین و کنار رودخانه‌ها و مسیل‌ها دیده می‌شوند، مربوط به عهد حاضر بوده، و سیمانی شدن چندانی ندارند.

٥- مشخصات عمومی آبرفت‌های درشت دانه و سیمانی شده تهران

مطالعات زمین شناسان نشان داده که منشا همه آبرفت‌های تهران یکسان می‌باشد. نبود سیمان در آبرفت‌های جوان و وجود درجات متفاوتی از سیمانی شدن در آبرفت‌های قدیمی بیانگر آن است که سیمانی شدن در این آبرفت‌ها ثانویه بوده و بیشتر در اثر نهشته شدن املاح آبهای زیرزمینی و تراکم رسوبات بوجود آمده‌اند. پدرامی (۱۳۵۷) و بربریان وهمکاران (۱۳٦٤) سیمان آبرفت‌های تهران رابیشتر آهکی دانسته‌اند. نبوی و ارژنگ

روش(۱۳۵٦) وجود قشرهای آهکدار سخت (Caliche) در قسمت‌های میانی آبرفت‌های سری C را ناشی از رسوب کربنات کلسیم در بین ذرات خاک عنوان کرده‌اند.

آبرفت‌های درشت دانه تهران دارای طیف وسیعی از دانه‌بندی می‌باشد. گرچه قسمت اعظم رسوبات مزبور از شن و ماسه تشکیل شده ولی در میان آنها از سنگ‌های بزرگ چند صد کیلویی گرفته تا مواد ریز دانه رسی دیده می‌شود. سنگ‌های درشت در قسمت‌های نزدیک به ارتفاعات شمال تهران بیشتر بوده و به سمت جنوب از میزان اجزای درشت کاسته شده و بر میزان مواد ریزدانه افزوده می‌شود.

به دلیل برونزدهای وسیع آبرفت‌های درشت دانه سری A و سیمانی شدن قابل توجه آنها، در مطالعه حاضر توجه بیشتری به آنها مبذول شده است. در ضمن اکثر نمونه برداری‌ها و آزمایش‌ها در سه محل: ۱- ساختگاه تونل رسالت (میدان آرژانتین)، ۲- مسیر بزرگراه رسالت در انتهای کوی نصر(گیشا) و ۳- ساختگاه هتل پنج ستاره در مجموعه برج میلاد تهران انجام شده است.

بررسی برش‌های آبرفت‌های سری A در نقاط مختلف شمال تهران نشان می‌دهد که با وجود همگنی عمومی آنها، از نظر دانه‌بندی و سیمانی شدن، غیر همگن بوده و سیمانی شدن آنها نه تنها در مقیاس‌های بزرگتر نظیر توالی‌های رسوبی، بلکه حتی در مقیاس‌های کوچکتر نظیر یک نمونه دستی نیز غیریکنواخت می‌باشد. وجود لایه‌های متعدد که هر کدام متشکل از چند ریزلایه دیگر بوده و همچنین جهت یافتگی سنگدانه‌ها در موقع رسوب گذاری و در اثر رویدادهای تکتونیکی از جمله عوامل دیگر ایجاد ناهمگنی محسوب می‌شوند. منحنی دانه‌بندی نمونه‌های اخذ شده از قسمت‌های مختلف شهر که در شکل ٤ نشان داده شده حاکی است که مقادیر شن، ماسه و مواد ریز دانه آنها از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر و از لایه‌ای به لایه دیگر متفاوت است. در این رسوبات بطور متوسط اجزای شنی و درشت‌تر بین ۱۰ تا ٦۰ درصد، مقدار ماسه بین ۳۰- ۷۰ درصد و مقدار مواد ریز دانه(اعم از سیلت و رس) بین ۳- ۳۰ درصد در نوسان است. براساس طبقه‌بندی یونیفاید، بیشتر نمونه‌ها دارای طبقه‌بندی GW-GM, GW-GC, GP-GM, GM, GC, SW-SM, SW-SC, SM, SC می‌باشند. مقاطع بررسی شده که یکی از آنها در عکس ۳ نشان داده شده بیانگر آن است که دانه‌بندی رسوبات نه تنها از لایه ای به لایه دیگر، بلکه در طول یک لایه رسوبی واحد نیز تغییر می‌کند.

سنگدانه‌های آبرفت‌های تهران بیشتر از سنگ‌های سازند کرج تشکیل یافته است. بربریان و همکاران (۱۳٦٤) حدود ۹۰ درصد عناصر تشکیل دهنده این آبرفتها را از سازند کرج عنوان کرده‌اند. مطالعات سنگ‌شناسی بر روی سنگ دانه‌های بخش شنی چند نمونه تهیه شده از محلهای مطالعاتی به شرح جدول ۱ بدست آمده است. مشاهده می‌شود که بیشتر سنگ دانه‌ها از توف، شیل و سنگ‌های آتشفشانی تشکیل یافته‌اند.

شکل ذرات درشت آبرفت‌های تهران نیز متغیر بوده و تابعی از جنس ذرات، مسافت حمل شده تا محل رسوب‌گذاری، فشارهای وارده و هوازدگی است. مطالعه بر روی چند نمونه ماخوذه از محل‌های مطالعاتی نشان داده که شکل بیشتر ذرات نیمه مدور تا گرد گوشه بوده و بر اساس تقسیم بندی Krumbein(1941) که در شکل ٥ نشان داده شده، عدد گرد شدگی آنها حدود ۰/٤ تا ۰/٥ است. شکل اجزای بخش شنی نمونه‌ای از آبرفت‌های برداشت شده از محل شماره ۱ در عکس ٤ و شکل ذرات ماسه‌ای نمونه‌ای دیگر که از محل شماره ۲ اخذ شده و از آن مقاطع صیقلی و نازک تهیه شده (عکس‌های ٥ و ٦) نشان می‌دهد که شکل ذرات نیمه مدور تا گوشه‌دار هستند. برخی از اجزای درشت آبرفت‌های قدیمی، در اثر شدت نیروهای وارده شکسته شده و دانه‌های تیز گوشه‌ای را بوجود آورده‌اند.

آزمایشات تعیین وزن مخصوص بر روی نمونه‌های سیمانی شده دست‌نخورده نشان می‌دهد که وزن مخصوص خشک آنها بین ۱/٦٥ تا ۲/۰٥ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر بوده و در محل‌های با تراکم و سیمانی شدن بالا، وزن مخصوص نیز بالا دیده می‌شود.

در آبرفت‌های درشت دانه تهران انواع بافت شناور، قفل و بست دانه‌ای و تماس طولی بین ذرات دیده می‌شود. بافت تماس نقطه‌ای ذرات درشت، در آبرفت‌های سری D و در برخی نقاط در آبرفت‌های سری‌های B و C قابل مشاهده است. در بافت شناور، مواد تشکیل دهنده خمیره رسوبات از نوع رس، سیلت و ماسه ریز هستند.

بررسی‌های درجا نشان می‌دهد که سیمانی شدن شدید در نقاطی رخ داده که شرایط برای نهشته شدن املاح کربناتی از آب‌های زیرزمینی مهیا بوده است. وجود آب‌های زیرزمینی املاح‌دار و نفوذ پذیری رسوبات که معمولا تابعی از بافت است از مهمترین عوامل رسوب مواد سیمانی کننده به شمار می‌آیند. مواد سیمانی کربناتی به رنگ سفید که پر کننده بیشتر خلل و فرج خاک است در نقاطی دیده می‌شود که مقدار مواد ریز دانه کم بوده و نفوذ پذیری اولیه زیاد بوده است.

٦- جنس مواد سیمانی کننده

جنس مواد سیمانی کننده آبرفت‌های درشت دانه تهران بر اساس

بافت رسوب، تاریخچه زمین‌شناسی و شرایط آبهای زیرزمینی موجود در آنها متفاوت است. مواد رسی، کربنات‌ها ، اکسیدهای آهن و به ندرت مواد سیلیکاتی و گچی مهمترین عوامل سیمانی کننده آبرفت‌های تهران بشمار می‌آیند. در افق‌هائی که رنگ آبرفت قرمز یا قهوه ای بوده و در موقع تشکیل پدیده لاتریتی شدن را پشت سر گذاشته‌اند، مواد رسی و اکسیدهای آهن بهمراه مواد کربناتی عوامل سیمانی کننده محسوب می‌شوند، ولی در رسوباتی که خاکستری رنگ بوده و میزان مواد رسی آنها کمتر است، مواد کربناتی را باید عامل اصلی سیمانی شدن دانست. به منظور شناخت مواد سیمانی کننده، بر روی سه نمونه تهیه شده از محل‌های مطالعاتی، آزمایشات تجزیه شیمیایی به روش ذوب قلیایی ، شناسایی بوسیله XRD و مطالعه مقاطع صیقلی و نازک صورت گرفته است. نمونه‌های انتخابی برای تجزیه شیمیایی به روش ذوب قلیایی و مطالعه XRD شامل مواد سیمانی کننده بین ذرات بودند که از لابلای دانه‌های درشت جدا شده بودند. در نمونه‌های تهیه شده از محل‌های شماره ۱و۳ مواد سیمانی کننده، بلورهای سفید رنگ کلسیتی بوده ولی در نمونه محل شماره ۲ مواد رسی و کلسیتی تشکیل دهنده مواد سیمانی بودند.

نتایج تجزیه شیمیایی که در جدول ۲ درج شده نشان می‌دهد که در نمونه محل‌های ۱ و ۳ حدود ۸۵ درصد از مواد سیمانی کننده از کربنات کلسیم ($CaCO_3$) تشکیل شده ولی در نمونه شماره ۲ میزان مواد کربناتی حدود ۲۲/۵ درصد بوده و مقادیر اکسیدهای آلومینیوم و سیلیس که بیانگر کانی‌های رسی هستند بیشترند. مطالعات XRD نیز نشان داده که نمونه محل‌های شماره ۱ و۳ اغلب دارای بلورهای کلسیت و نمونه محل شماره ۲ علاوه بر بلورهای کلسیت دارای کانی‌های رسی نظیر مونت‌موریونیت است (شکل ٦). تهیه و مطالعه مقاطع صیقلی و نازک نیز وجود بلورهای کلسیت مابین ذرات درشت دانه را تایید می‌کند. در عکس ٤ نمونه‌ای از مقاطع صیقلی و در عکس ٥ نمونه‌ای از مقاطع نازک تهیه شده نشان داده شده است. روش دیگری که برای تعیین مقدار مواد آهکی موجود در آبرفت‌ها استفاده شده، روش انحلال در اسید کلریدریک ۳ نرمال است (Cahney et al. 1982). در این روش بر اساس کاهش وزن نمونه در اثر آزاد شدن گاز CO_2 مقدار ماده آهکی موجود در نمونه محاسبه می‌گردد. با توجه به اینکه اجزای ثوف و شیل سنگ‌های آتشفشانی که مهمترین متشکله آبرفت‌های درشت دانه به شمار می‌آیند واکنشی با اسید مورد نظر نمی‌دهند، لذا مواد آهکی اندازه‌گیری شده را می‌توان مربوط به مواد سیمانی کننده دانست. نتایج این آزمایشات مقدار مواد آهکی آبرفت‌های بررسی شده را بین ۵ تا ۲۲ درصد نشان داده است.

۷- نتایج آزمایشات تعیین مقاومت و تغییر شکل

برای بررسی تاثیر سیمانی شدن بر مقاومت برشی و پارامترهای تغییر شکل آبرفت‌های درشت دانه تهران، آزمون‌های درجا و آزمایشگاهی متعددی انجام شده که در این مقاله تنها به بخشی از نتایج آنها اشاره می‌شود. آزمایشات انجام شده برای بررسی تاثیر سیمانی شدن بر پارامترهای مقاومتی و تغییر شکل به دو روش کلی، مطالعه بر روی آبرفت‌های طبیعی و آبرفت‌های به طور مصنوعی سیمانی شده انجام شده است. برای مطالعه بر روی آبرفت‌های با سیمان طبیعی از آزمایش های درجا (نظیر برش درجا، بارگذاری صفحه و بارگذاری صفحه در لبه ترانشه) و آزمایش های آزمایشگاهی(برش مستقیم بزرگ ۵۰×۵۰ و۳۰×۳۰ سانتی‌متر) و همچنین برای مطالعه بر روی آبرفت‌های با سیمان مصنوعی از آزمایشات برش مستقیم با نمونه‌های۳۰×۳۰ سانتی‌متر و نمونه‌های سه محوری به قطر ۱۰ سانتی‌متر استفاده شده است. نحوه انجام و تحلیل نتایج آزمایش‌های برش درجا و بارگذاری صفحه در لبه ترانشه در یثربی و همکاران(۱۳۸۰)، یثربی و اصغری(۲۰۰۱) و تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش های برش مستقیم در Haeri et al. (2002) آمده است.

آزمون‌های درجا نشان داده که سطوح لایه بندی مهمترین سطوح ضعف آبرفت‌های سیمانی شده بوده و در صورت اعمال بار به صورت قائم، معمولا گسیختگی در امتداد سطوح لایه بندی پدید می‌آید. شایان ذکر است که شیب سطوح لایه بندی آبرفت‌های سری A در محل آزمون‌ها حدود ۳۰ درجه بوده‌است.

با توجه به حساسیت نمونه‌های سیمانی شده به دست‌خوردگی و دشوار بودن تهیه نمونه دست نخورده با روش‌های متداول، در این مطالعات از روش نمونه گیری مستقیم در داخل جعبه برش مخصوصی که به ابعاد ۳۰ ×۳۰ سانتی‌متر ساخته شده بود، نیز استفاده شده است. در این روش بعد از انجام آزمایش برش بر روی نمونه دست نخورده مورد نظر، همان نمونه را با رطوبت و وزن مخصوص طبیعی بازسازی کرده و مجدداً آزمایش برش شده تا تاثیر سیمانی شدن مشخص گردد. در شکل ۷ نمونه‌ای از نتایج آزمایش برش مستقیم برروی نمونه دست‌نخورده و دست‌خورده جهت مقایسه با یکدیگر ارائه شده است. نتایج آزمایش‌های درجا و آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های دست نخورده بیانگر آن است که مقدار چسبندگی آبرفت‌های سیمانی شدن متغیر بوده و اغلب بین ۰/۵ تا ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بدست آمده است(جدول ۳). آزمایش‌های بارگذاری صفحه با صفحه دایره‌ای به قطر ۳۰ سانتی‌متر در نقاط مختلف بر روی آبرفت‌های سیمانی شده نشان می‌دهد که ضریب عکس‌العمل بستر (K_s) برای

آبرفت‌های درشت دانه سیمانی شدن بین ٤٠ تا ١٠٠ کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب و برای آبرفت‌های با سیمانی شدن ضعیف بین ١٠ تا ٤٠ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب قرار دارد. ضریب عکس‌العمل بستر آبرفت‌های غیر سیمانی کمتر از ١٠ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمده است. نمودار چند مورد از آزمایش‌های بارگذاری صفحه در شکل ٨ نشان داده شده است. در قسمت‌هایی که آبرفت‌ها حاوی مقدار به نسبت زیادی مواد ریز دانه (بیش از حدود ١٥ درصد) هستند، مقدار ضریب عکس‌العمل زمین به شدت تابعی از درصد رطوبت خاک است.

با توجه به دشواری تهیه نمونه دست‌نخورده برای مطالعه رفتار خاک بوسیله آزمایش سه محوری، از نمونه‌های با سیمان مصنوعی برای این منظور استفاده شده است. بر اساس محدوده دانه‌بندی آبرفت‌های درشت دانه تهران و محدودیت اندازه ذرات برای ساخت نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ١٠ سانتی‌متر و ارتفاع ٢٠ سانتی‌متر جهت آزمایش سه محوری و نمونه‌های مکعبی شکل به ابعاد ٣٠ و ضخامت ١٥ سانتی‌متر جهت آزمایش برش مستقیم، دانه‌بندی خاک پایه (نماینده آبرفت‌های درشت دانه تهران) تعیین شده است. منحنی دانه‌بندی خاک پایه انتخاب شده در شکل ٩ نشان داده شده است. نمونه‌های سیمانی شده با افزودن آهک هیدراته به خاک پایه ساخته شده است. در این بخش از مطالعات ٤ سری نمونه با افزودن آهک به مقدار ٠، ١/٥، ٣ و ٤/٥ درصد وزنی خاک ساخته شده و بعد از نگهداری به مدت ٦ هفته در شرایط اشباع تحت آزمایشهای سه محوری و برش مستقیم قرار گرفته‌اند. در عکسهای ٧ و ٨ تصاویری از نمونه‌های آزمایش شده نمایش داده شده است. نتایج این آزمایشات نشان می‌دهد که مقاومت خاک در اثر سیمانی شدن به مقدار زیادی افزایش یافته و منحنی تنش-کرنش در نمونه‌های سیمانی شدن بعد از یک مقاومت حداکثر(Peak)، دچار افت شدید یا به اصطلاح نرم شوندگی با کرنش می‌شود. در تغییر شکل‌های بیشتر که اثر سیمانی شدن از بین می‌رود مقاومت باقیمانده نمونه‌های سیمانی شده و غیر سیمانی تقریبا برابر می‌گردند. در شکل ١٠ نمونه‌ای از نتایج آزمایش‌های سه محوری که بر روی نمونه‌های سیمانی شده و غیر سیمانی انجام شده نشان دهنده موارد مذکور است. با افزایش مقدار ماده سیمانی کننده بر مقدار چسبندگی خاک افزوده می‌شود(شکل ١١).

نمونه‌های آزمایش شده در فشارهای همه جانبه بالا نشان می‌دهد که اثر سیمانی شدن در افزایش مقاومت با افزایش فشار همه جانبه کم می‌شود. بطور مثال همان گونه که در شکل ١٢ نشان داده شده نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های سیمانی شدن با ٣ درصد آهک در فشارهای همه جانبه مختلف نشان می‌دهد که در فشارهای همه جانبه بیش از حدود ١٢ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، تاثیر سیمانی شدن در افزایش مقاومت ناچیز می‌شود. پوش گسیختگی خاک‌های سیمانی شده انحنا قابل توجهی دارد. بعنوان مثال در شکل ١٣ پوش گسیختگی نمونه‌های با ٣ درصد سیمان و نمونه‌های غیرسیمانی جهت مقایسه نشان داده شده است.

٨- بحث و نتیجه گیری

آبرفت‌های درشت دانه که در شمال تهران و پیرامون آن گسترش دارند دارای درجات متفاوتی از سیمانی شدن می‌باشند. در آبرفت‌های سری A میزان سیمانی شدن به نسبت بالا و درآبرفت‌های سری B و C ضعیف تا متوسط بوده و آبرفت‌های سری D بسیار ضعیف تا بدون سیمان است. پدیده سیمانی شدن در آبرفت‌های تهران ثانویه بوده و جنس بیشتر مواد سیمانی کننده، کربناتی (به ویژه کلسیتی) است که بوسیله آب های زیرزمینی نهشته شده‌اند. نحوه سیمانی شدن و میزان تاثیر آن بر افزایش مقاومت این آبرفت‌ها تابع بافت اولیه، شرایط محیطی و تاریخچه زمین‌شناسی است. در آبرفت‌های سیمانی شده‌ای که مقدار مواد ریزدانه کمتر از حدود ١٥ درصد می‌باشد، بیشتر ذرات درشت بوسیله سیمان کربناتی به یکدیگر متصل شده و مقاومت و چسبندگی خاک به مقدار زیادی ناشی از سیمان کربناتی است. ولی در آبرفت‌هایی که مقدار مواد ریز دانه بیش از مقدار مذکور می‌باشد، مواد ریزدانه به صورت خمیره اجزای درشت را در بر گرفته و اجزای درشت به حالت شناور می‌باشند. در این حالت با وجود سیمان کربناتی، اتصال بیشتر دانه‌های درشت به وسیله خمیره ریز دانه صورت گرفته و مقاومت برشی خاک به مقدار زیادی تحت تاثیر خصوصیات مواد خمیره قرار می‌گیرد. به عنوان مثال در رسوباتی که خمیره آنها دارای مواد رسی زیادی می‌باشد، مقاومت و چسبندگی به مقدار زیادی متاثر از درصد رطوبت خاک است.

میزان سیمانی شدن آبرفت‌های درشت دانه، از نقطه‌ی به نقطه دیگر و از لایه‌ای به لایه دیگر تغییر می‌کند. به طور عموم آبرفت‌های با سیمانی شدن بالا دارای وزن مخصوص بالایی نیز بوده و این افزایش وزن مخصوص ناشی از اعمال فشارهای زیاد در گذشته و پر شدن خلل و فرج بوسیله مواد سیمانی کننده است. نتایج آزمایش‌های تعیین مقاومت به صورت درجا و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که افزایش مقاومت در اثر سیمانی شدن چشمگیر بوده و مقدار چسبندگی خاک را به بیش از حدود ١/٥ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع افزایش می‌دهد. آزمون‌های بارگذاری صفحه در لبه ترانشه و ایجاد گسیختگی نشان می‌دهد که سطوح لایه بندی مهمترین سطح ضعف

آبرفت‌های سیمانی شده سری A را تشکیل می‌دهد.

براساس نتایج آزمایش‌های بارگذاری صفحه، ضریب عکس‌العمل بستر(K_s) در آبرفت‌های سیمانی شدن بین ٤٠ تا ١٠٠ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمده است در حالی که برای آبرفت‌های سیمانی نشده این مقدار کمتر از ١٠ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. آزمایش‌های سه محوری بر روی نمونه‌های با سیمان مصنوعی نشان داده که با سیمانی شدن، شکنندگی خاک در موقع گسیختگی افزایش یافته و مقاومت برشی خاک در فشارهای همه جانبه کم تا چند برابر افزایش می‌یابد. رفتار تنش- کرنش نمونه‌های سیمانی شده نشانگر آن است که مقاومت خاک بعد از یک مقدار حداکثر که معادل با از بین رفتن اثر پیوندهای سیمانی است، دچار کاهش شدید می‌شود. اثر سیمانی شدن در افزایش مقاومت خاک در فشارهای همه جانبه کم بیشتر از فشارهای همه جانبه زیاد است. پوش گسیختگی خاک‌های سیمانی شده منحنی شکل بوده و با افزایش درجه سیمانی شدن بر انحنا آن افزوده می‌شود.

محل نمونه	توف سبز	شیل	سنگهای آتشفشانی	عناصر فرعی
محل شماره ١	٦٠	٢٧	١٠	٢
محل شماره ٢	٥٧	٣٠	٨	٤
محل شماره ٣	٦٧	٢٢	٧	٤

جدول ١- جنس اجزاء درشت چند نمونه از آبرفتهای تهران (درصد وزنی)

برش درجا	برش مستقیم	بارگذاری در لبه ترانشه
	١/١٠	٠/٩٣
٠/٨٦		٠/٧٣
		١/٧٣
		١/١٨
١/١٢	١/٠٨	١/١٧
		٠/٨٢
		٠/٩٧
		١/٦٦
	١/٣٢	١/٣٦
		٠/٣٥
٧٥		٠/٧٨

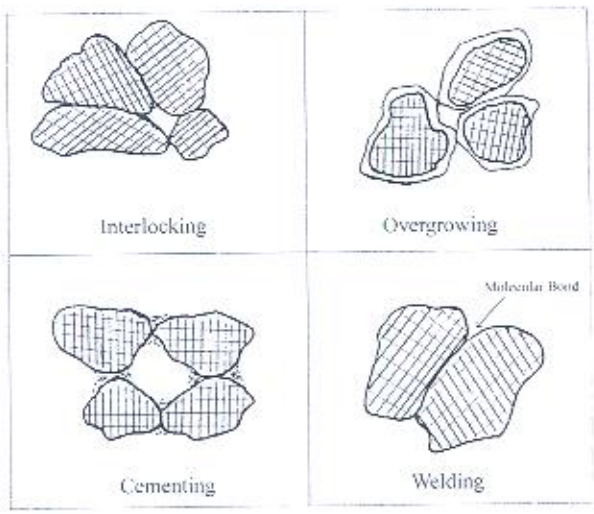
جدول ٣- نتایج چند نمونه از آزمونهای درجا برای برآورد ضریب چسبندگی آبرفتهای درشت دانه سیمانی شده برحسب کیلوگرم بر سانتی مترمربع

سپاسگزاری

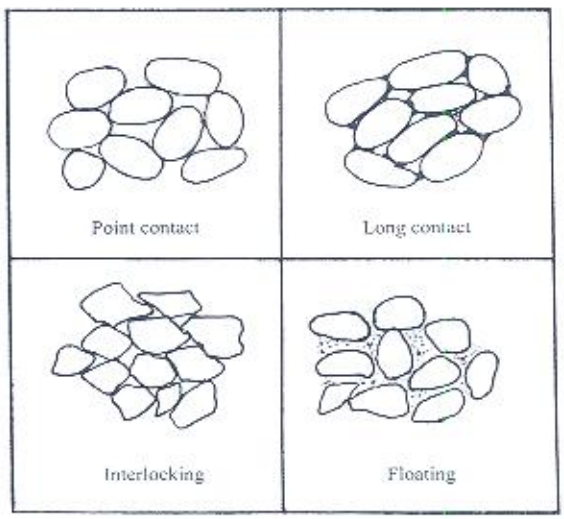
قسمتی از مطالعات در چارچوب یک طرح تحقیقاتی در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن انجام شده است. آزمایشهای برش مستقیم در آزمایشگاه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و آزمایش‌های سه محوری در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه دورهام انگلیس انجام شده است. راهنمائی‌های ارزنده دکتر David Toll و کمک‌های آقایان محمد حسین توفیق ریحانی و صمد نمازی شایسته قدردانی فراوان است.

اکسیدها (٪)	محل اخذ نمونه		
	محل شماره ١	محل شماره ٢	محل شماره ٣
SiO_2	١٠/١	٥٤/٦١	٩/٠
Al_2O_3	٢/٤٥	١٥/٤٥	١/٨٥
Fe_2O_3	١/٦	٥/٠	٢/٠
CaO	٤٦/٧٦	١٢/٦٠	٤٨/١٦
MgO	٠/٨	٠/٤٠	٠/٦
مفقودی در اثر ذوب	٣٦/٧٤	٩/٣٠	٣٧/٦٦
$CaCO_3$ برآورد شده	٨٣/٥	٢٢/٥	٨٦/٠

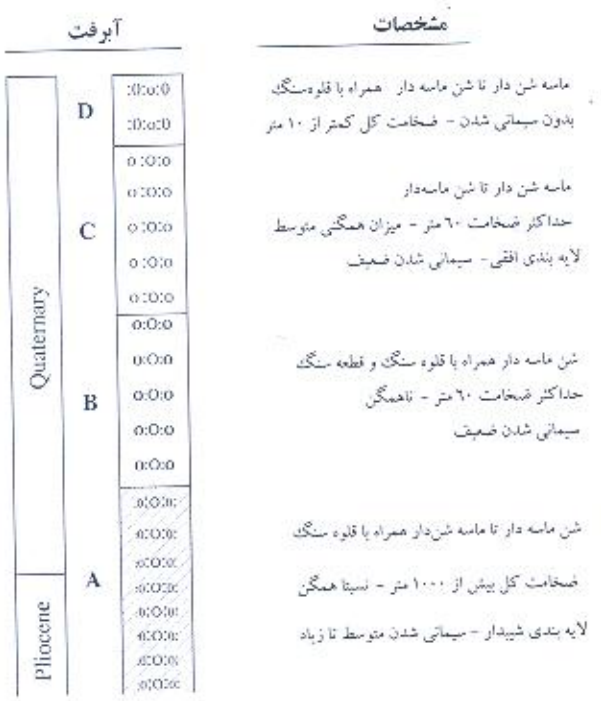
جدول ٢- نتایج تجزیه شیمیایی مواد سیمانی کننده چند نمونه از آبرفتها به روش ذوب قلیایی



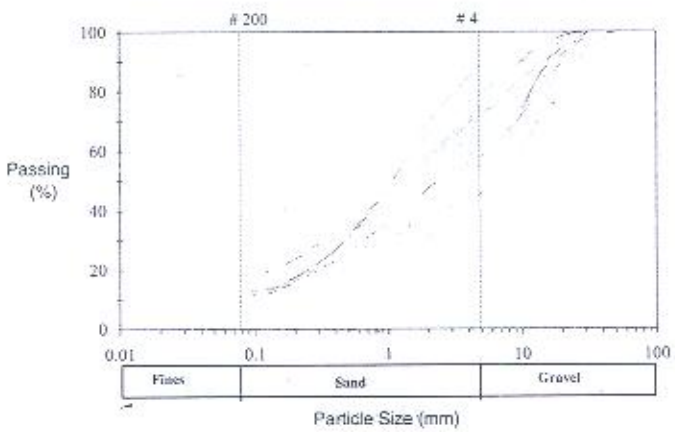
شکل ١ - عوامل اصلی بوجود آورنده چسبندگی در خاکهای درشت دانه (بارتون ١٩٩٣)



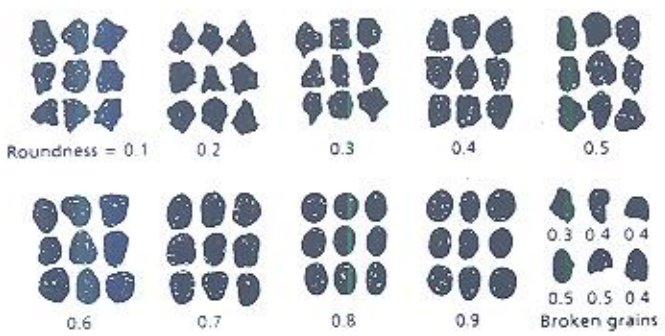
شکل ۲- انواع متداول بافت در خاکهای درشت دانه
(اقتباس از سیتار ۱۹۸۳)



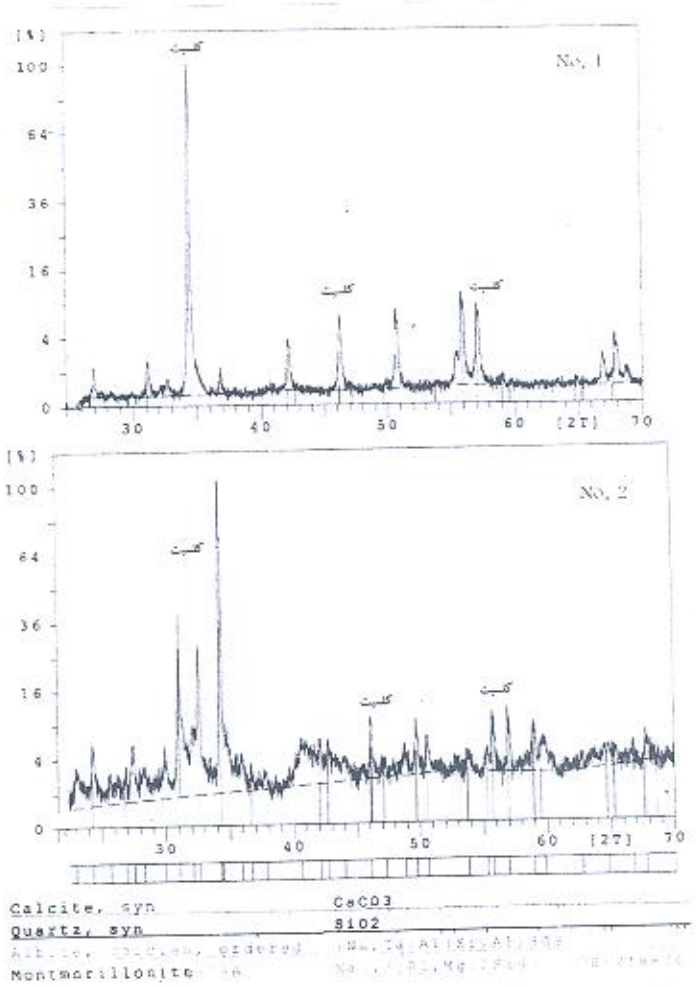
شکل ۳- برخی مشخصات زمین شناسی آبرفتهای درشت دانه تهران



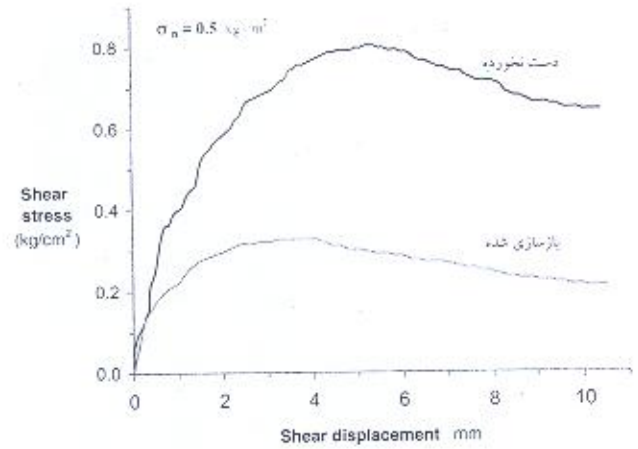
شکل ٤- منحنی دانه بندی چند نمونه از آبرفتهای درشت دانه و سیمانی شده



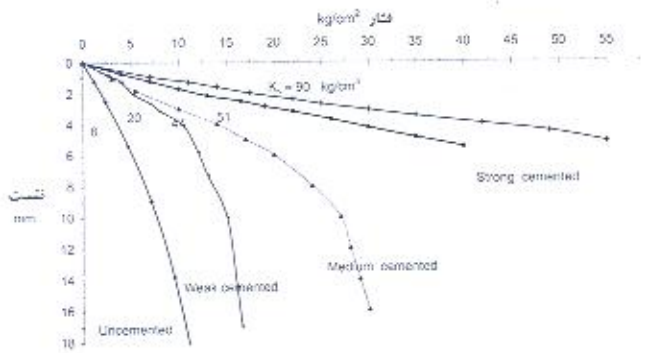
شکل ۵- رده بندی گردشدگی ذرات خاک (کرومبین ، ۱۹٤۱)



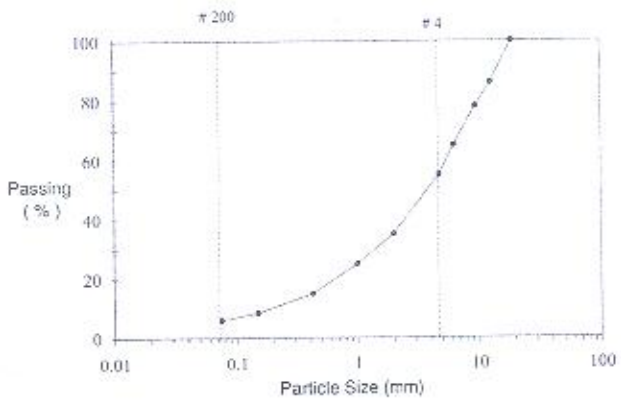
شکل ٦- نمودار XRD ماده سیمانی کننده دو نمونه برگرفته ازمحلهای مطالعاتی شماره ۱ و ۲



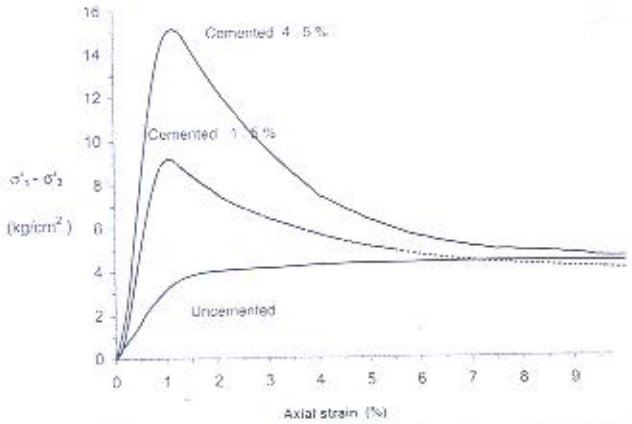
شکل ۷- مقایسه مقاومت برشی یک نمونه دست نخورده و بازسازی شده از آبرفتهای سیمانی شده (آزمایش برش مستقیم ۳۰×۳۰ سانتی متر)



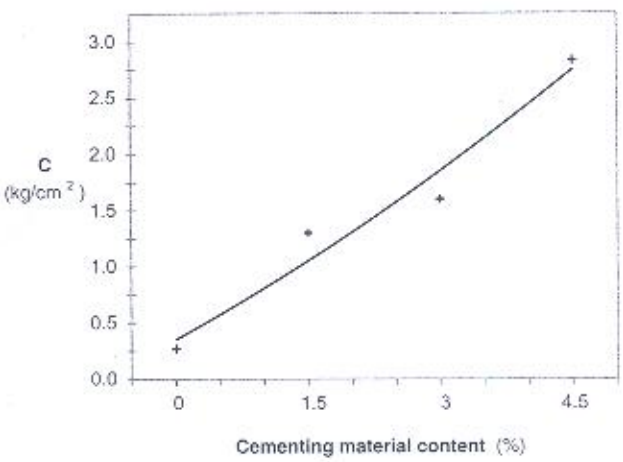
شکل۸- نمودار چند آزمایش بارگذاری صفحه به قطر ۳۰ سانتی متر



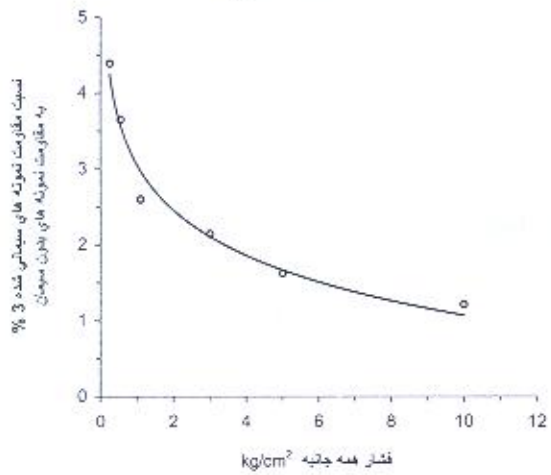
شکل ۹- منحنی دانه بندی خاک پایه برای ساخت نمونه های مصنوعی سیمانی شده



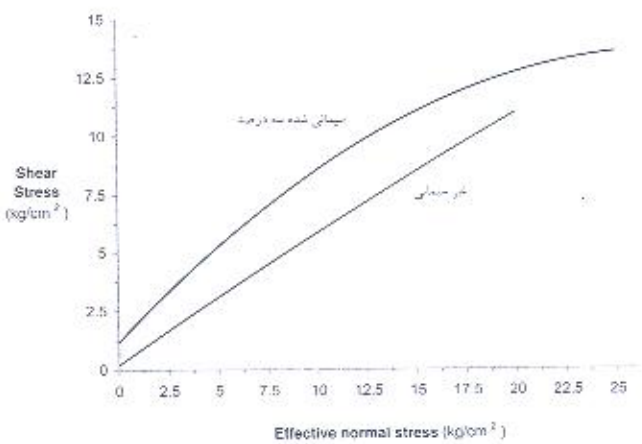
شکل ۱۰- منحنی تنش - کرنش نمونه های سیمانی شده و نشده (آزمایشهای سه محوری زهکشی شده در فشار همه جانبه ۱/۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع)



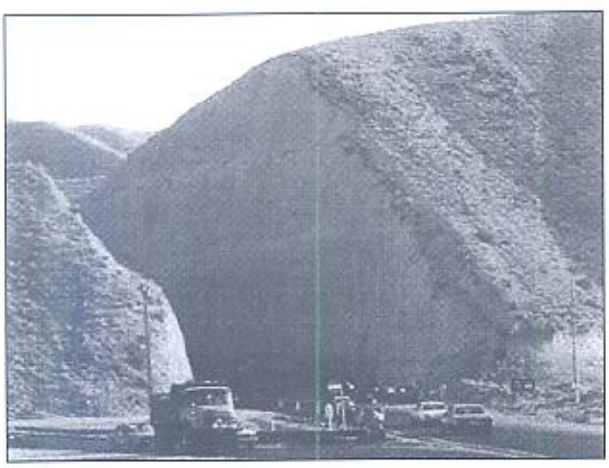
شکل ۱۱- نمودار افزایش ضریب چسبندگی خاک با مقدار ماده سیمانی کننده



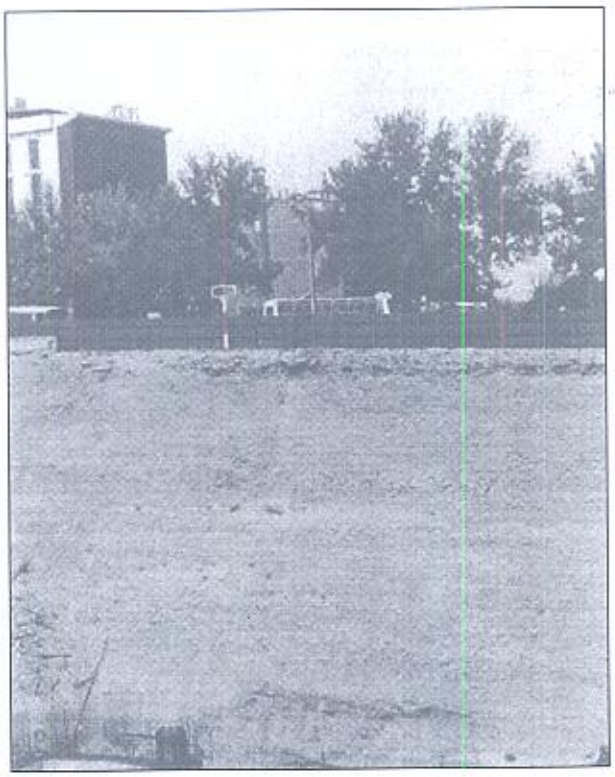
شکل ۱۲- نمودار نسبت مقاومت برشی نمونه های سیمانی شده ۳۰٪ به مقاومت برشی نمونه های غیر سیمانی در مقابل فشار همه جانبه



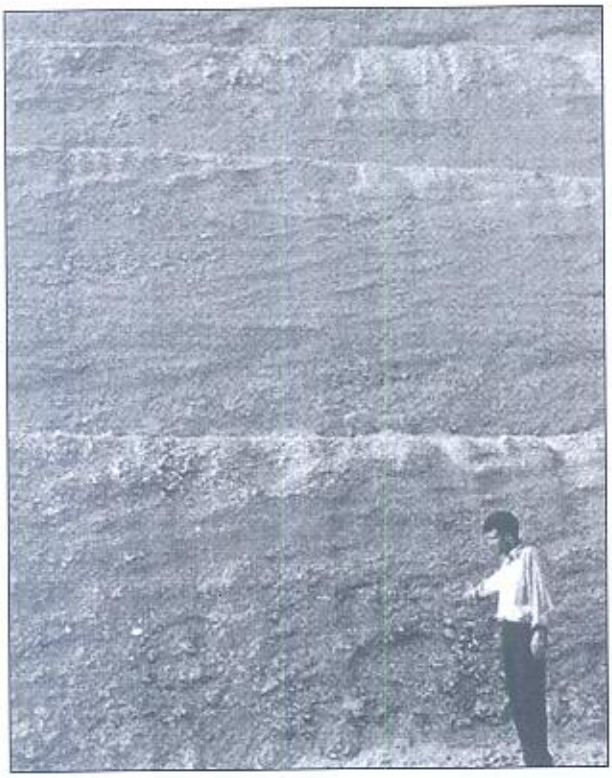
شکل ۱۳- پوش گسیختگی برای نمونه های سیمانی شده ۳ درصد و بدون سیمان



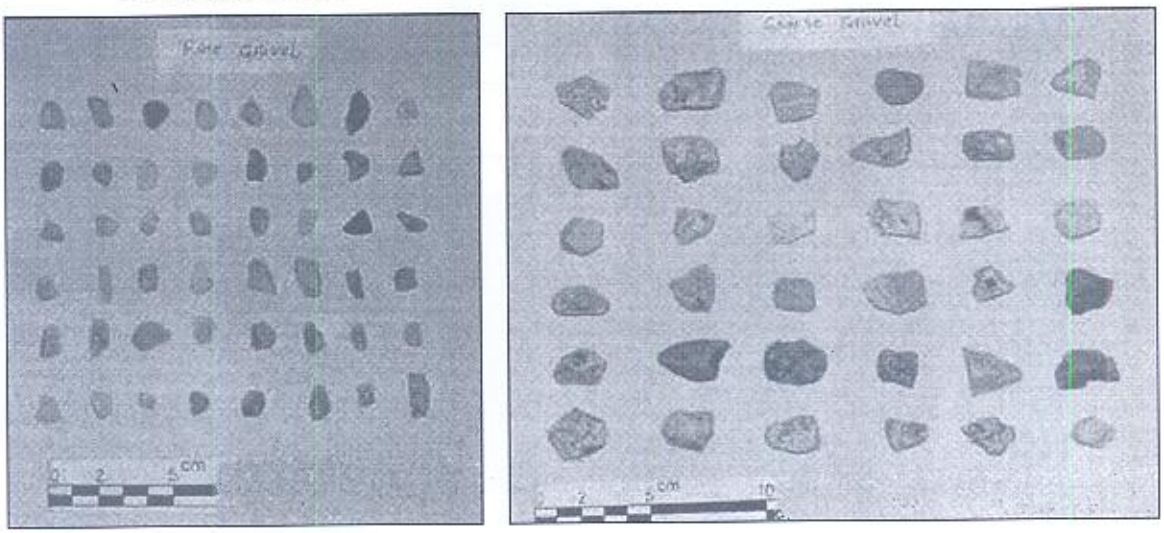
عکس ۱- نمونه ای از ترانشه های عمودی پایدار در آبرفتهای سیمانی شده سری A (جاده رودهن)



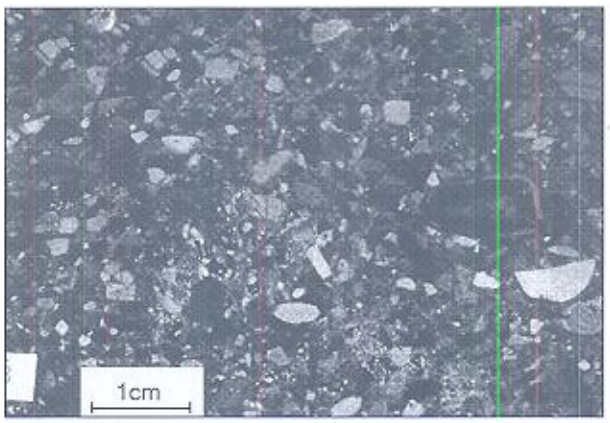
عکس ۲- نمونه ای از دیواره های عمودی پایدار در آبرفتهای سیمانی شده سری C (جنوب شرقی پارک لاله)



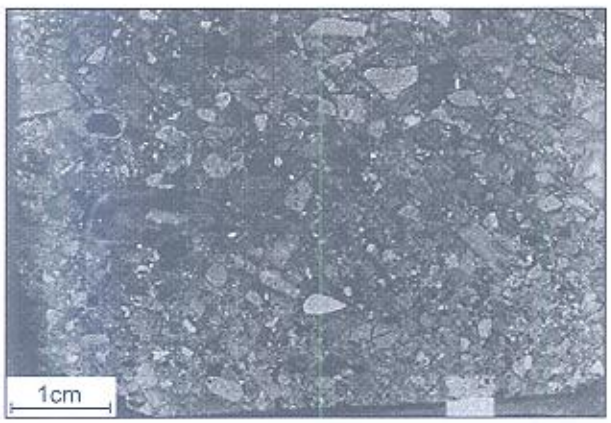
عکس ۳- نمونه ای از مقاطع بررسی شده در آبرفتهای سیمانی شده سری A (محل مطالعاتی شماره ۲- حاشیه شمالی بزرگراه رسالت در در محل انتهای کوی نصر)



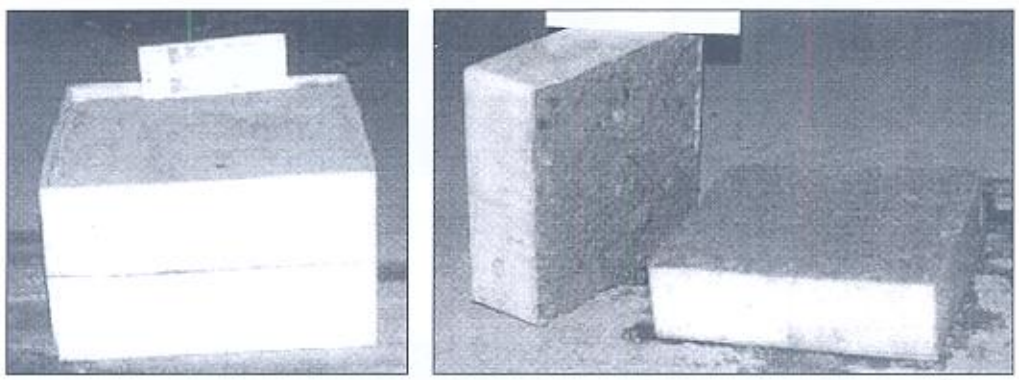
عکس٤- شکل اجزای شنی آبرفتها در محل مطالعاتی شماره ۱ (تونل رسالت)



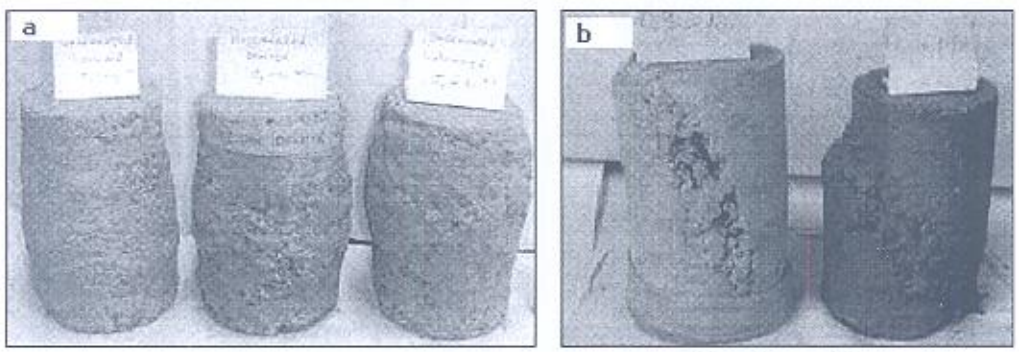
عکس۵- نمونه ای از مقاطع صیقلی تهیه شده از آبرفتهای سیمانی شده (نمونه از محل مطالعاتی شماره ۲)



عکس ٦ - نمونه ای از مقاطع نازک تهیه شده برای مطالعه میکروسکپی از آبرفتهای سیمانی شده (نمونه از محل مطالعاتی شماره ۲)



عکس ۷- نمونه سیمانی شده در داخل قالب ۳۰×۳۰ سانتی متر قبل از برش (چپ) و بعد از برش (راست)



عکس ۸- گسیختگی نمونه های غیر سیمانی بصورت خمره ای (چپ)و سیمانی شده با پهنه برش (راست) در آزمایشهای سه محوری

کتاب نگاری

امینی، م.، ۱۳٦٤- ویژگیهای ژئوتکنیک رسوبات کواترنر دشت تهران، مجموعه مقالات نخستین سمپوزیوم بین‌المللی کواترنر، دانشگاه تهران، ص ۱۷۱-۱۷۵.

بربریان،م، قریشی م.، ارژنگ روش، ا. و مهاجر اشجعی، ا.، ۱۳٦٤- پژوهش و بررسی ژرف نو زمینساخت و خطر زمینلرزه - گسلش در گستره تهران و پیرامون، گزارش شماره ٥٦ سازمان زمین شناسی کشور.

پدرامی، م.،۱۳٥٦- مطالبی مختصر در مورد رسوبات کواترنر اطراف تهران، سازمان زمین شناسی کشور، ۱۸ صفحه.

شرکت خدمات مهندسی مکانیک خاک،۱۳۷۳- گزارش نهائی ژئوتکنیک پروژه تونل خیام، شهرداری تهران.

شرکت خدمات مهندسی مکانیک خاک ۱۳۷۵- گزارش ژئوتکنیک برج چند منظوره میلاد تهران، شرکت پادمان سازه.

نبوی، م. ح.، ارژنگ روش، ب.، ۱۳٥٦- بحثی پیرامون نهشته‌های کواترنر ناحیه تهران، سازمان زمین شناسی کشور، ۱۱ صفحه.

یثربی، ش.، حائری، س.م.، اصغری، ا. و توفیق ریحانی، م.،۱۳۸۱- تاثیر سمنتاسیون بر پارامترهای مقاومتی و تغییر شکل خاکهای درشت دانه با نگرشی به آبرفتهای تهران، گزارش پروژه تحقیقاتی، مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان.

یثربی، ش.، اصغری، ا. و توفیق ریحانی، م.، ۱۳۸۰- بارگذاری صفحه در لبه ترانشه روشی ساده جهت ارزیابی چسبندگی آبرفتهای درشت دانه تهران، مجموعه مقالات دومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۵-۲٤

Reference

Barton, M. E.,1993- Cohesive sands: the natural transition from sands to sandstones, Proc. Geotechnical Engineering of Soft Rocks- Hard Soils, Anagnostopoulos et al.(eds.), Balkema, Rotterdam, pp. 367-374.

Chaney, R.C., Slonim, S. M. and Slonim, S. S., 1982- Determination of calcium carbonate content on soils, Proc. Geotechnical properties, behaviour and performance of calcareous soils, ASTM, STP777, pp. 3-15.

Clough, G. W., Sitar, N., Bachus, R. C. and Rad, N. S. , 1981- Cemented sands under static loading; Journal of Geotech. Engrg. Div., ASCE, Vol. 107(6), pp. 799-817.

Coop, M. R., and Atkinson, J. H. , 1993- The mechanics of cemented carbonate sands, Geotechnique, London, 43(1), pp. 53-67

Hacri, S. M., Yasrebi, S. and Asghari, E., 2002- Effects of cementation on the shear strength parameters of Tehran alluvium using large direct shear test, Accepted for 9th IAEG Congress, Durban, South Africa, pp.519-525.

Krumbein, W. C. , 1941., Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles, Journal of Sedimentary Petrology, 11, pp. 64-72

Lade, P. V. and Overton, D.D., 1989- Cementation effects in frictional materials, Journal of Geotech. Engerg. Div., ASCE, Vol. 115(10), pp. 1373-1387

Leroueil, S. and Vaughan, P. R., 1990- The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks, Geotechnique, London, 40(3), pp. 467-488.

Riben, E. H., 1966- Geological observations on alluvial deposits in northern Iran, Geological Survey of Iran, Report No. 9.

Saxena, S. K., and Lastrico, R.M. ,1978- Static properties of lightly cemented sand, Journal of Geotech. Engerg. Div., ASCE, 104(12), pp. 1449-1465.

Sitar, N., 1983- Slope stability in coarse sediments, Proc. Geotechnical environment and soil properties, Huston, Am. Soc. Civ. Engrs., pp. 82-98.

Yasrebi, S. and Asghari, E. ,2001- Estimating the in-situ cohesion of Tehran coarse grained cemented alluvium, Proc. 54th Canadian Geotechnical Conference, Calgary, Alberta, Canada, pp. 1226-1230.

* دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

** دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

* *Sharif University of Technology, Tehran, Iran*

** *Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran*