زمین شناسی آبرفت‌های تهران و ارزیابی طبقه‌بندی ریبن جهت مطالعات زمین‌شناسی مهندسی

اکبر چشمی*[۱]، علی فاخر[۲]، ماشاءالله خامه چیان[۱]
[۱]گروه زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۲] دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران، ، تهران، ایران
*مسئول مکاتبات- آدرس الکترونیکی: *cheshomi@sahelce.com*
(دریافت: ۸۵/۲/۱۲ ؛ پذیرش: ۸۵/۶/۲۷)

چکیده
شهر تهران بر روی نهشته های آبرفتی دوران چهارم بنا شده است. در گذشته ویژگیهای این رسوبات توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته ولی بیش از همه طبقه‌بندی ریبن مورد استفاده واستناد است. ریبن درسال ۱۹۵۵ رسوبات آبرفتی تهران را از قدیم به جدید به چهار گروه C, B, A و D تقسیم نمود. در بررسی رسوبات از دیدگاه زمین شناسی بیشتر به مطالعه رسوبات از نظر زمان تشکیل و اختصاصات عمومی (نظیر جنس رسوبات ، منشا، شرایط تشکیل و ...) پرداخته و کمتر به جنبه های کاربردی و ژئوتکنیکی آن توجه شده است. مطالعه رسوبات بر اساس زمان تشکیل میتواند اطلاعات مفیدی در رابطه با تاریخچه تکوین حوزه رسوبگذاری و روند تغییرات رسوبات در آن بدست دهد و حتی میتواند به مهندس ژئوتکنیک در برنامه ریزی مطالعات و نتیجه گیریها کمک کند اما این موضوع در حالت کلی نیازمند ارزیابی طبقه‌بندیهای زمین شناسی با توجه به نوع رسوبات است. در این مقاله به منظور ارزیابی قابلیتهای طبقه بندی ریبن و سایر طبقه‌بندیهای زمین شناسی در مطالعات ژئوتکنیکی، این طبقه‌بندیها تشریح شده و نقاط ضعف و قوت آنها توضیح داده شده است. سپس ضمن ارائه نقشه‌های زمین شناسی تهیه شده برای تهران انطباق پذیری نقشه ها با نتایج برخی چاهکهای حفر شده و پیمایشهای انجام شده بررسی شده و در پایان عوامل زمین شناسی مؤثر بر خواص ژئوتکنیکی رسوبات گستره تهران با توجه به نتایج حاصله از بررسیهای انجام شده بیان شده است.

واژه‌های کلیدی: زمین‌شناسی تهران، آبرفت‌های تهران، طبقه‌بندی ریبن، رسوبات تهران.

۱- مقدمه:
شهر تهران بر روی نهشته‌های آبرفتی دوران چهارم زمین‌شناسی بنا شده است. لذا سن رسوبات حداکثر ۵ میلیون سال است. این آبرفت‌ها توسط سیلابهایی که در اواخر دوران سوم و همزمان با برپایی ارتفاعات البرز از این ارتفاعات سرچشمه گرفته‌اند، در نواحی دامنه ای و پست برجا گذاشته شده است. طبقه‌بندی آبرفت‌های درشت دانه تهران موضوع تحقیق محققین مختلف بوده است. این رسوبات اولین بار توسط ریبن (Rieben) در سالهای ۱۹۵۳-۱۹۶۶ بررسی شده است. همه بررسی کنندگان کم و بیش تقسیم بندی انجام شده بوسیله ریبن را بکار برده‌اند و تا کنون تغییر عمده‌ای در این تقسیم بندی انجام نگرفته است (بربریان و همکاران ۱۳۶۴).

با توجه به گسترش روز افزون ساخت و ساز و نیز توسعه پروژه های عمرانی و شهری در تهران مثل پروژه های خطوط مترو، لزوم شناخت بهتر خصوصیات زمین شناسی و ژئوتکنیک آبرفت‌های تهران احساس می‌گردد. لذا در این مقاله سعی شده ضمن توضیح طبقه‌بندیهای ارائه شده، مزایا و معایب طبقه‌بندیها توضیح داده شود. سپس پراکندگی واحدهای آبرفتی در نقشه‌های زمین شناسی و ژئومورفولوژی موجود بررسی و با پیمایش سطحی و بررسی برخی گمانه ها و چاهکهای حفاری شده، مقایسه گردد و در پایان عوامل زمین شناسی موثر بر خواص ژئوتکنیکی این آبرفت‌ها با ذکر نمونه‌ای از مشاهدات انجام شده، تشریح گردد.

۲- طبقه‌بندی آبرفت‌های درشت دانه تهران
ریبن نهشته‌های آبرفتی تهران را به چهار بخش بنام سازندهای A، B، C و D تقسیم کرد (به نقل از بربریان و همکاران ۱۳۶۴). سازند A قدیمی‌ترین وD جدیدترین سازند محسوب می‌شود. ویژگیهای کلی این نهشته‌ها با استفاده از توضیحات بربریان و همکاران (۱۳۶۴) به شرح زیر می‌باشد:

- سازند A (هزاردره)، کنگلومرائی همگن به رنگ خاکستری روشن با سیمان قوی و سخت و ضخامت حدود ۱۲۰۰ متر است. این سازند بطور موضعی دارای لایه‌ها و عدسی‌های رس و ماسه بوده و عموماً به شکل تپه‌ها با دره‌های عمیق مشاهده می‌شود. شیب لایه‌ها حداکثر تا ۹۰ درجه است. در مناطقی نظیر کن، اوین، قیطریه، عباس آباد،گردنه قوچک، ابتدای جاده هراز به سمت شمال و تپه گیشا مشاهده شده

Archive of SID

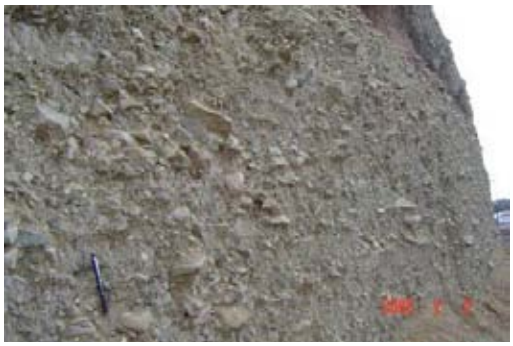
www.SID.ir

است. بعنوان مثال شکل‌های ۱ و ۲ طی تحقیق حاضر از سازند مذکور گرفته شده است.

شکل ۱- آبرفتهای سازند A در شمال بزرگراه شهید همت، شیبدار بودن لایه ها و پایدار بودن دیواره های قائم بدلیل چسپندگی بالا در این شکل نشان داده شده است (زمستان ۱۳۸۳).

شکل۲- آبرفتهای سازند A در تپه گیشا (شمال بزرگراه آیت ا... حکیم - انتهای کوی نصر)، شیب دار بودن آبرفت ها و وجود لایه های ماسه ای در این شکل مشاهده می شود (فروردین ۱۳۸۴).

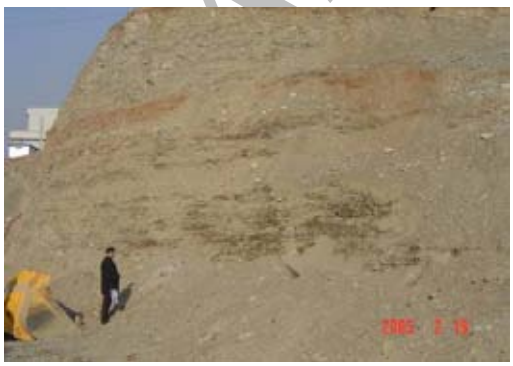
- سازند B (سازند ناهمگن شمال تهران)، کنگلومرای سخت نشده و ناهمگن شامل قلوه سنگ، شن، ریگ و گاهاً قطعات درشت دانه تا چند متر(درجنوب تهران آبرفت‌های B ریزدانه است که به آن سیلتهای کهریزک گویند). خمیره از ماسه، لای و رس تشکیل شده است. این سازند بصورت دگرشیب بر روی سازند A قرار دارد. ضخامت این سازند حداکثر ۶۰ متر بوده و به سمت جنوب کمتر می‌شود. دارای شیب حداکثر ۱۵ درجه بوده و در مناطقی مثل باغ فیض، شهرک غرب، دانشگاه شهید بهشتی، جاده شمیران، جاده قدیم شمیران به سمت جنوب تا عباس آباد مشاهده شده است. بعنوان مثال شکل‌های ۳ و ۴ که در این تحقیق تهیه شده است نمونه‌ای از بیرونزدگیهای آبرفت‌های سازند B را نشان می‌دهد.



شکل ۳- آبرفتهای سازند B درحوالی دانشگاه شهید بهشتی، متغیر بودن اندازه دانه ها و تیز گوشگی آنها مشخص می باشد (اسفند ۱۳۸۳).

شکل ۴- آبرفتهای سازند B درحوالی دانشگاه شهید بهشتی، ناهمگنی رسوبات و وجود لایه های قرمز بدلیل بالا رفتن میزان رس در این رسوبات مشاهده می شود (اسفند ۱۳۸۳).

- سازند C (سازند تهران)، آبرفت‌های مخروط افکنه‌ای شامل قلوه سنگ، ریگ و شن می‌باشد. سیمان بین دانه‌ها از ماسه و لای تشکیل شده، این سازند جورنشده، همگن و سخت نشده است. ضخامت این سازند تا ۶۰ مترگزارش شده است. لایه ها بصورت افقی بوده و بخش عمده‌ای از تهران بر روی نهشته‌های این سازند قرار دارد. بعنوان مثال شکل‌های ۵ و ۶ که در این تحقیق تهیه شده است نمونه‌ای از آبرفت‌های سازند C را نشان می دهد.



شکل ۵- آبرفتهای سازند C در انتهای خیابان استاد حسن بنا، لایه های قلوه سنگ دار قرمز رنگ و لایه های هوازده و لاتریتی که نشانه توقف هایی در رسوبگذاری در زمان تشکیل میباشد در این شکل دیده میشود. (بهمن ۱۳۸۳).

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۶- آبرفتهای سازند C در بلوارکشاورز (جنب خیابان حجاب) پایدار بودن دیواره های بلند بدلیل چسبندگی ناشی از سیمانی بودن در این شکل مشاهده می‌شود (بهمن ۱۳۸۳).

- سازند D (آبرفت‌های کنونی)، جوانترین نهشته رسوبی در مسیر و بستر رودخانه‌های کنونی بوده که در شمال تهران شامل قلوه سنگ و شن گرده شده و سیمان نشده و در جنوب تهران شامل سیلت و رس است. این سازند از لایه های افقی با ضخامت کمتر از ۱۰ متر تشکیل شده است. شکل‌های ۷ و ۸ نمونه هائی از رسوبات سازند D را نشان می‌دهدکه در تحقیق حاضر تهیه شده است.

شکل ۷- آبرفتهای سازند D در جنوب غرب میدان قزوین ، شامل لایه های سیلتی و رسی (اسفند ۸۳).

۳- مزایا و معایب طبقه‌بندی‌های آبرفت‌های تهران

قبل از بیان مزایا و معایب طبقه‌بندی ریبن مناسب است نخست مقایسه ای بین خصوصیات عمومی سازندهای مورد بحث در طبقه‌بندی مذکور انجام گیرد. این مقایسه در جدول ۱ ارائه شده است. در این جدول سازندها به شکلی ساده به منظور استفاده مهندسین در کارهای عملی با هم مقایسه شده اند.

شکل ۸- آبرفتهای سازند D در انتهای بزرگراه امام علی (ع)، وجود قطعات بزرگ و سیمان ضعیف که از ویژگیهای این آبرفت است در شکل نشان داده شده است (بهمن ۱۳۸۳).

مزایای طبقه‌بندیهای آبرفت‌های تهران عبارتند از:

الف) ارائه ارزیابی اولیه ای از خصوصیات آبرفت‌های تهران؛ با استفاده از این طبقه‌بندیها امکان ارزیابی اولیه ای از وضعیت آبرفت‌های موجود در منطقه مورد مطالعه فراهم می‌شود. بطور مثال با مراجعه به نقشه‌های موجود و توضیحات جدول ۱ میتوان برخی ویژگیهای این آبرفت‌ها را مشخص کرد.

ب) شناخت شرایط تشکیل؛ با توجه به این طبقه‌بندیها امکان بررسی و مقایسه شرایط تشکیل سازندهای آبرفتی مختلف فراهم می‌گردد. برای مثال آبرفت‌های سازند B مربوط به جریانهای سیلابی و یخچالی بوده ولی آبرفت‌های سازند C مربوط به جریانهای رودخانه ای و سیلابی بوده است. این تشخیص نشان می‌دهد که احتمال وجود قطعات سنگی بزرگ و فرسوده در بخشهایی از سازند B وجود دارد در حالیکه در سازند C وجود این قطعات بزرگ منتفی می‌باشد.

جدول ۱- مقایسه سازندهای گستره تهران بر اساس طبقه بندی ریبن.

موضوع مقایسه	سازند			
	A	B	C	D
سن	۵ میلیون سال	۷۰۰،۰۰۰ سال	۵۰،۰۰۰ سال	۱۰،۰۰۰ سال
سیمانی شدن	سیمان شده و سخت شده	متغییر ولی عموما دارای سیمان ضعیف	سیمان ضعیف تر از A و سخت نشده	سیمان نشده
دانه بندی	از حد رس تا دانه هایی به قطر ۱۰ تا ۲۵ سانتیمتر	بسیار متغییر با قطعات چند متری	از حد رس و سیلت تا حداکثر دانه به قطر ۲۰ سانتیمتر	از حد رس تا قطعات سنگی بزرگتر از یک متر
شیب لایه ها	دارای شیب حداکثر تا ۹۰ درجه	بصورت دگر شیب بر روی آبرفت A و دارای شیب کمتر از ۱۵ درجه	افقی	افقی
ضخامت	حداکثر ۱۲۰۰ متر	حداکثر ۶۰ متر (به سمت جنوب کم می شود)	حداکثر ۶۰ متر	کمتر از ۱۰ متر
حوضه رسوبی	سیلابی	یخچالی - سیلابی	سیلابی – رودخانه ای	سیلابی – رودخانه ای

Archive of SID

www.SID.ir

ج)- تفکیک براساس سن و زمان تشکیل؛ با توجه به اینکه مبنای طبقه‌بندیها سن و زمان تشکیل رسوبات می‌باشد لذا بررسی تقدم و تاخر در توالی‌های رسوبگذاری با استفاده از این طبقه‌بندیها امکانپذیر می‌باشد.

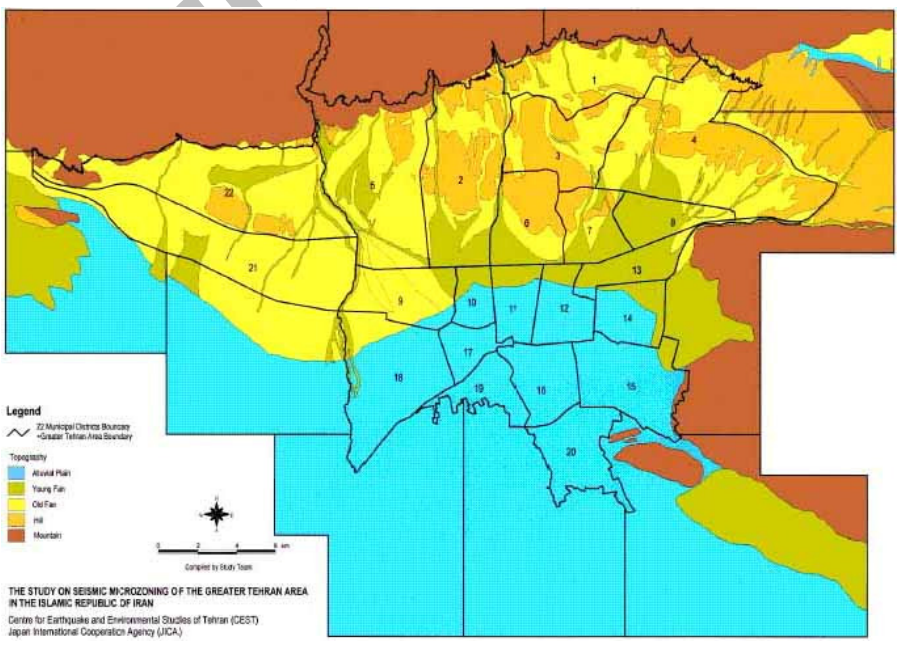
در کنار مزایای فوق الذکر لازم است معایب طبقه‌بندی زمین‌شناسی آبرفت‌ها نیز مورد توجه قرارگیرد. استفاده از این طبقه‌بندیها به شکل ارائه شده اطلاعات مفیدی در خصوص ویژگیهای ژئوتکنیکی مصالح بدست نمی‌دهد، مخصوصا که بدلیل ناهمگنی موجود در آبرفت‌های تهران امکان توسعه اطلاعات برای بخشهای دیگر وجود ندارد. باتوجه به اینکه اساس تفکیک رسوبات آبرفتی تهران زمان تشکیل آنها است لذا ممکن است آبرفت‌های ی در یک زمان تشکیل شده باشند و در یک گروه طبقه‌بندی گردند لیکن از نظر خواص ژئوتکنیکی با هم متفاوت باشند. برای مثال آبرفت‌های کنونی تهران)سازند(D در نواحی شمالی تهران درشت دانه با سیمان ضعیف و در نواحی جنوبی ریز دانه هستندکه از نظرخواص ژئوتکنیکی با هم متفاوتند ولی در یک گروه قرارگرفته اند.

۴- بررسی پراکندگی واحدهای آبرفتی در نقشه مورفولوژی تهران

گستره تهران از نظر مورفولوژی به ۵ واحد به نام کوه، تپه، مخروط افکنه قدیمی، مخروط افکنه جوان و دشت قابل تقسیم است (آژانس همکاری های بین الملل ژاپن ۱۳۸۰). بعنوان یکی از اقدامات اولیه در تحقیق حاضر، گسترش سازندهای مختلف در پهنه‌های مورفولوژی طی جدول ۲ با همدیگر مقایسه شده اند. همچنین در شکل ۹ نقشه مورفولوژی تهران نشان داده شده است.

جدول ۲- گسترش آبرفتهای تهران در پهنه‌های مورفولوژی مختلف.

واحد مورفولوژی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	شیب متوسط (درجه)	سازند دارای بیرونزدگی	ملاحظات
کوه	۱۸۰۰	۳۰-۵۰	سازند کرج (شامل توف و ...)	در ارتفاعات کوهستانی شمال تهران نظیر توچال مشاهده میشود.
تپه	۱۵۰۰	۲۰-۳۰ (بالای تپه) ۳۰-۴۰ (دامنه)	سازندهای A و B	بلندی های سعادت آباد، شمیران، دزاشیب، ارمنیه (تپه های محمودیه، الهیه، قیطریه،فرمانیه) شیان و کوثر، طرشت و عباس آباد جزء این گروه هستند.
مخروط افکنه قدیمی	۱۱۰۰-۱۵۰۰	۵-۱۰	سازند C	در فرونشست اوین، تجریش، نیاوران و داودیه سازند C مشاهده می شود. (در برخی از این فرونشست ها آبرفت های B نیز مشاهده شده است).
مخروط افکنه جوان	۱۱۰۰-۱۴۰۰	کمتر از ۵	سازند D (درشت دانه)	مسیل ها و مسیرهای رودخانه های قدیمی و جدید با رسوبات این گروه پوشیده شده.
دشت	۱۰۰۰-۱۱۰۰	هموار	سازند D (ریزدانه)	بخشهای جنوبی شهر تهران از حوالی خیابان جمهوری به بعد در این گروه طبقه بندی می شوند.



شکل ۹- نقشه مورفولوژی تهران، گسترش واحدهای مورفولوژی مختلف در این نقشه نشان داده شده است (آژانس همکاریهای بین الملل ژاپن ۱۳۸۰)

Archive of SID

www.SID.ir

بنا براین بر اساس جدول ۲ می توان نتیجه گرفت تپه ها و نقاط با شیب متوسط از آبرفت‌های سازندهای A و B تشکیل شده است. مخروط افکنه های قدیمی از آبرفت‌های سازند C تشکیل شده، شیب در این مناطق کم می‌باشد. مخروط افکنه های جوان از آبرفت‌های سازند D (بخش درشت دانه) تشکیل شده و شیب زمین در این محلها بسیار کم می‌باشد. بخش ریزدانه آبرفت‌های سازند D دشت تهران را تشکیل می‌دهد.

۵- بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی برای تفکیک آبرفت‌های تهران در تحقیق حاضر

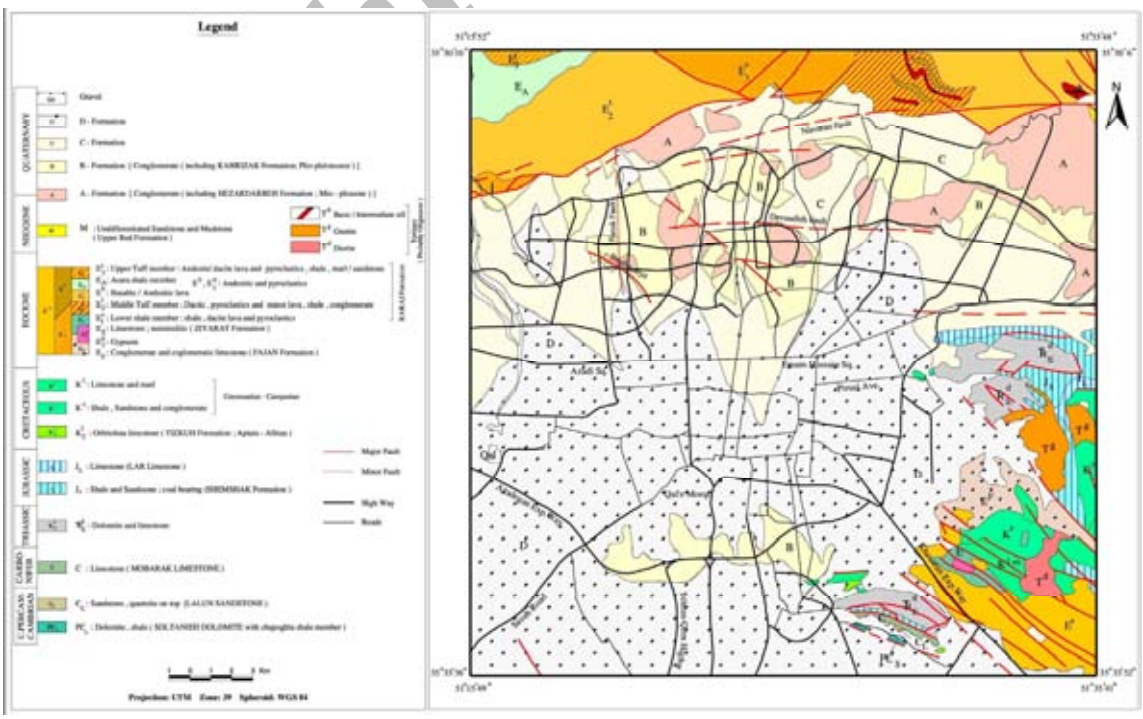
در این تحقیق سه سری نقشه زمین‌شناسی تهیه شده برای تفکیک آبرفت‌های تهران به شرح زیر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است:

الف)- نقشه ۱:۱۳۰۰۰۰، (شکل ۱۰)، منتشرشده توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (جعفری و همکاران ۱۳۸۱).

ب)- نقشه ۱:۱۴۵۰۰۰، (شکل ۱۱)، منتشر شده توسط امینی، بر اساس داده‌های حاصله از مطالعات خطوط یک و دو متروی تهران (امینی ۱۳۷۳).

ج)- نقشه ۱:۲۰۰۰۰۰، (شکل ۱۲)، منتشر شده در گزارش ریز پهنه بندی لرزه‌ای تهران که توسط آژانس همکاریهای بین الملل ژاپن با همکاری مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران تهیه شده است (آژانس همکاری های بین الملل ژاپن ۱۳۸۰).

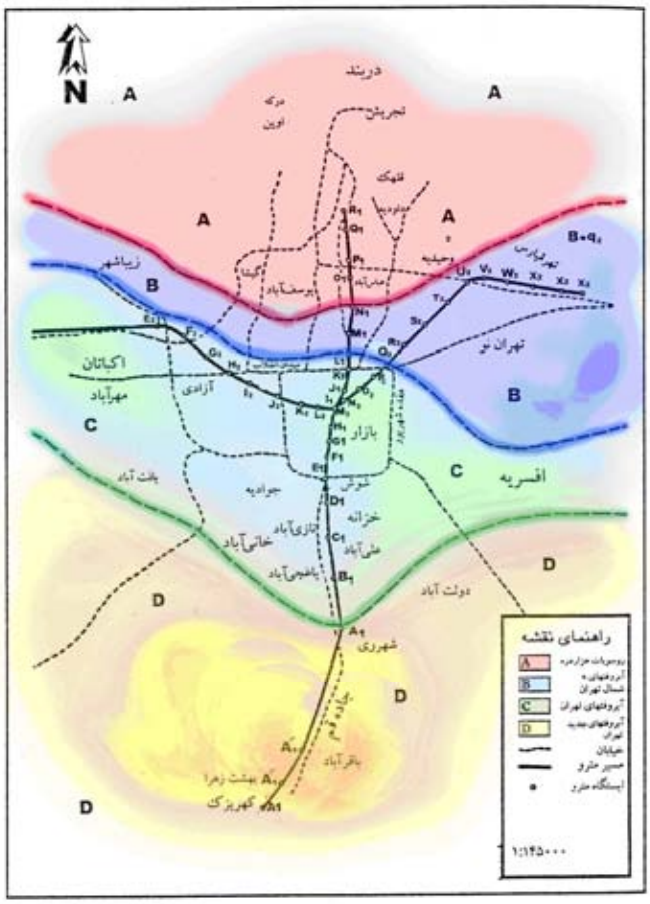
برای بررسی نقشه‌های تهیه شده اقدام به پیمایش سطحی و استفاده از نتایج حاصله از حفر حدود ۴۷ چاهک دستی و گمانه در برخی مناطق شهر تهران شد (چشمی و همکاران ۱۳۸۴). مسیرهای پیمایش شده و محل چاهکها و گمانه های حفر شده در شکل ۱۳ نشان داده شده است. این مطالعات در رابطه با دو خط مترو تهران انجام شده است و بدیهی است که محققین امکان گمانه زنی و حفاری در نقاط مورد نظر خود را نداشته اند. علاوه بر این در این تحقیق تعداد سه حلقه چاهک دستی و نه گالری افقی حفر گردید و وضعیت رسوبات در این چاهکها تا عمق حدود ۲۲ متر مطالعه شد. محل حفر اولین و دومین چاهک دستی و پنج گالری افقی در حاشیه بزرگراه امام علی (ع) بوده و محل حفر چاهک دستی سوم و چهار گالری افقی در انتهای کوی نصر بوده است. موقعیت آنها در شکل ۱۳ نشان داده شده است. پروفیل زیر سطحی مصالح در طول این چاهکها در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است. با توجه به این اشکال وضعیت گالریهای افقی حفر شده نسبت به چاهک اصلی مشخص می‌باشد. لازم به ذکر است که حفر اینگونه چاهکها و گالریها و بازدید های زمین‌شناسی از وضعیت آبرفت‌ها در این محلها اطلاعات ارزشمندی در خصوص ویژگیهای زمین‌شناسی مصالح بدست می‌دهد. با توجه به محدوده نتایج مشاهده شده در بررسیهای میدانی انجام شده توسط مولفین و مقایسه آنها با نقشه‌های فوق میتوان موارد انطباق یا عدم انطباق را به شرح زیر بیان کرد:



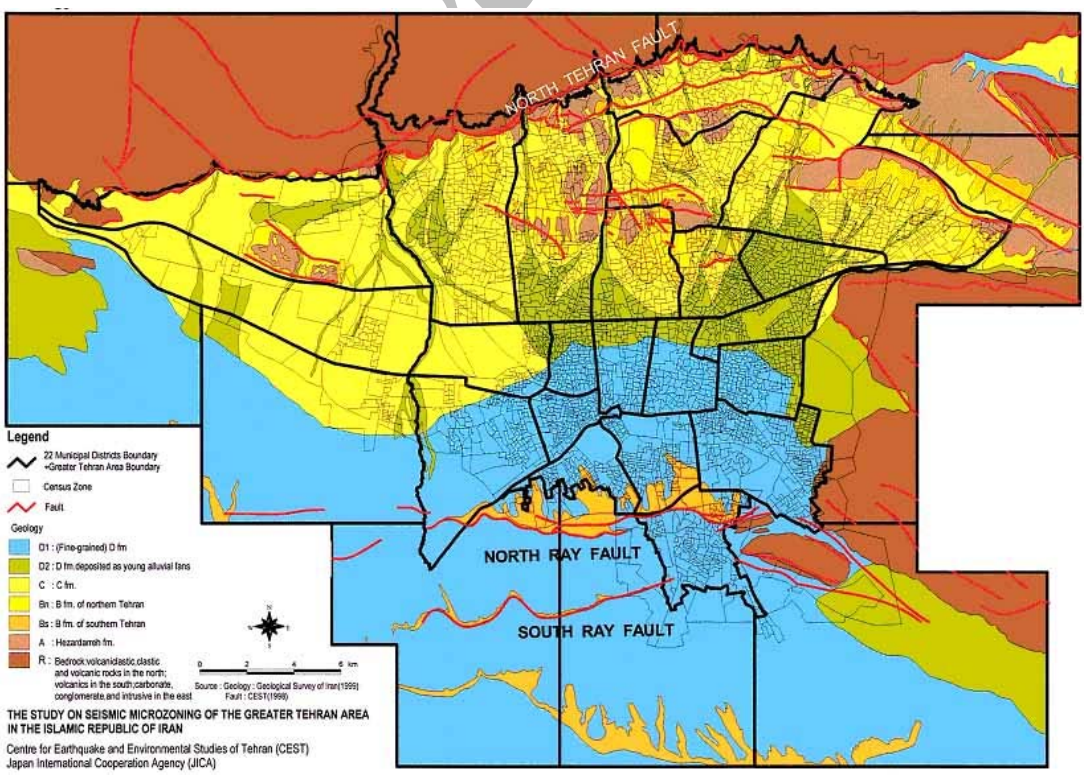
شکل ۱۰- نقشه زمین شناسی تهران، تهیه شده توسط پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله (جعفری و همکاران ۱۳۸۱).

Archive of SID

www.SID.ir

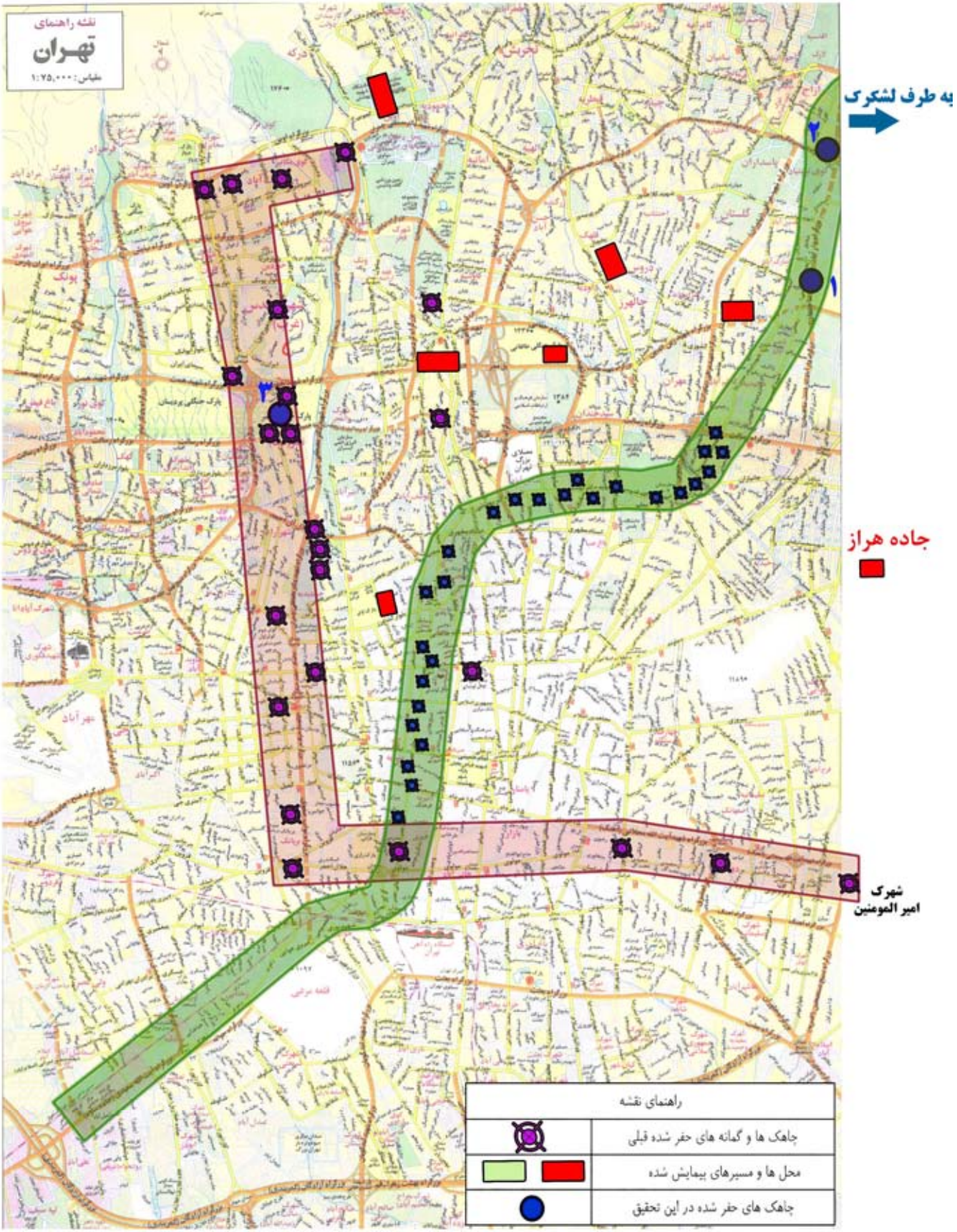


شکل ۱۱- نقشه زمین شناسی تهیه شده توسط امینی بر اساس مطالعات خطوط ۱ و ۲ متروی تهران (امینی ۱۳۷۳).



شکل ۱۲- نقشه زمین شناسی تهران، تهیه شده توسط آژانس همکاریهای بین الملل ژاپن با همکاری مرکز مطا لعات زلزله و زیست محیطی تهران.(آژانس همکاریهای بین الملل ژاپن۱۳۸۰).

www.SID.ir

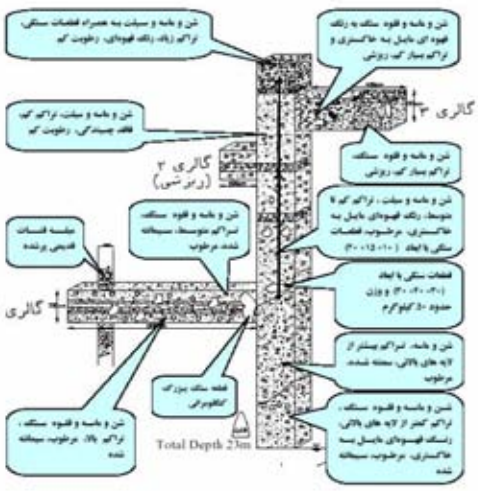


شکل ۱۳- محل چاهک‌ها و گمانه‌های حفرشده در مطالعات قبلی بهمراه مسیرهای پیمایش‌شده و محل‌حفر چاهک‌ها درتحقیق حاضر (در نقشه شهری تهران).

www.SID.ir

کروکی محل اولین چاهک دستی و گالری های افقی حفر شده در حاشیه بزرگراه امام علی (ع)

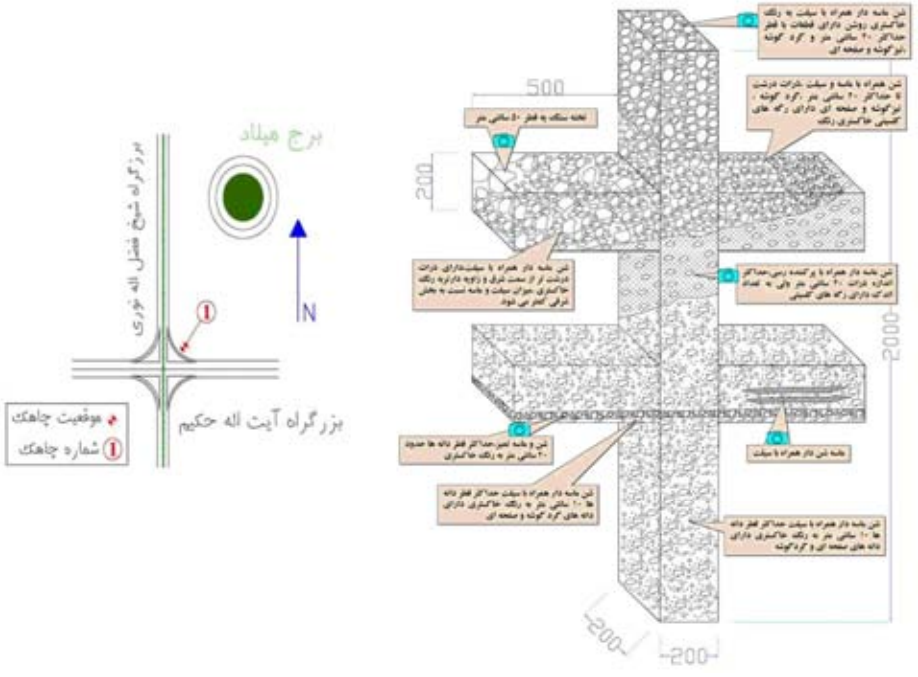
کروکی محل دومین چاهک دستی و گالری های افقی حفر شده در حاشیه بزرگراه امام علی (ع)



پروفیل خاک در محل شماره ۱ تا عمق ۲۰ متری

پروفیل خاک در محل شماره ۲ تا عمق ۱۶ متری

شکل ۱۴- کروکی و پروفیل چاهک ها و گالری های افقی حفر شده در حاشیه بزرگراه امام علی (ع) ، وجود مصالح درشت دانه سازند D در قسمتهای بالایی چاهک ها و تا عمق حدود ۷ متر، در محل شماره ۱ در زیر رسوبات D رسوبات A و در محل شماره ۲ رسوبات C مشاهده شده است.



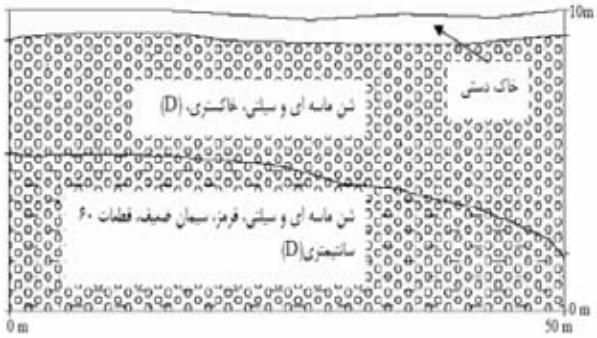
شکل ۱۵- کروکی و پروفیل زیرسطحی مصالح درچاهک و گالری‌های حفرشده درانتهای کوی نصر که تماما در رسوبات A می‌باشد (محل شماره ۳ درشکل۱۳).

www.SID.ir

الف) در بخش فوقانی چاهکهای شماره ۱ و ۲ که در حاشیه بزرگراه امام علی (ع) حفاری شد قطعات سنگی درشت دانه، فاقد سیمان، با تراکم ناچیز مشاهده شد. این آبرفت‌ها متعلق به سازند D تهران می‌باشند که ضخامت آنها در محل ۱ و ۲ حدود ۷ متر می‌باشد. در زیر این رسوبات به ترتیب در محل ۱ و ۲ آبرفت‌های A و C تهران وجود دارد. وجود آبرفت‌های D تهران در این منطقه تنها در نقشه تهیه شده توسط آژانس همکاریهای بین الملل ژاپن به درستی گزارش شده است. لازم به ذکر است که در نقشه تهیه شده توسط پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله در این محل رسوبات سازندهای A و C گزارش شده و در نقشه تهیه شده توسط امینی به رسوبات سازند A در این منطقه اشاره شده است.

ب) رسوبات مشاهده شده در محل حفر چاهک شماره ۳ که در انتهای کوی نصر حفر گردید متعلق به سازند A می‌باشند . در هر سه نقشه به وجود این رسوبات در این محل اشاره شده است.

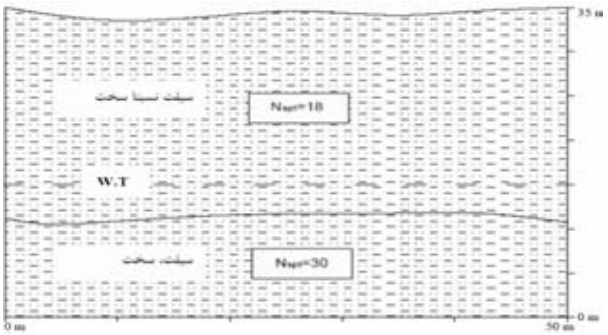
ج) بر اساس گودبرداری موجود در حاشیه بزرگراه شهید چمران (پل گیشا) که مقطع آن در شکل ۱۶ نشان داده شده است، آبرفت‌های سازند D در این منطقه مشاهده می‌شود. وجود آبرفت‌های سازند D در این نقطه بجز در نقشه ارائه شد توسط امینی در سایر نقشه ها گزارش شده است.



شکل ۱۶- مقطع ژئوتکنیکی در بزرگراه چمران (پل گیشا) در آبرفت درشت دانه D.

د) بر اساس گودبرداری انجام شده درحوالی اسلامشهر(جاده ساوه، یک کیلو متر بعد از پل کمربندی به سمت اسلامشهر) لایه های سیلتی مشاهده شده، ضمنا در شکل ۱۷ مقطع ژئوتکنیکی آبرفت‌ها در این نقطه دیده می‌شود. وجود مصالح ریز دانه در بخشهای جنوبی شهر تهران در هر ۳ نقشه فوق به درستی گزارش شده است.

با توجه به موارد فوق ملاحظه می‌شود که انطباق پذیری خوبی بین مشاهدات و نقشه‌های تهیه شده برای گستره تهران وجود دارد ولی دقت نقشه تهیه شده توسط مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بیشتر از سایر نقشه ها می‌باشد. بدیهی است که این نتیجه گیری بر اساس تعداد نقاطی می‌باشد که در تحقیق حاضر بررسی شده است.



شکل ۱۷- مقطع ژئوتکنیکی در حوالی اسلامشهر در آبرفت ریز دانه D.

۶- عوامل زمین‌شناسی موثر بر خواص ژئوتکنیکی آبرفت‌های تهران

در این بخش با توجه به مباحث ذکر شده قبلی و نیز پیمایشهای انجام شده در مسیرهای مختلف شهر تهران و مشاهده ترانشه ها و گودهای موجود و نتایج برخی گمانه ها و چاهکهای حفاری شده، به ذکرعوامل زمین شناسی موثر بر خواص ژئوتکنیکی آبرفت‌های تهران پرداخته می‌شود.

۶-۱- شکل دانه

شکل دانه متأثر از منشأ، مسافت حمل شده و عامل انتقال است. سنگهای مختلف دانه‌هایی با اندازه، شکل و مقاومت مختلف در برابر هوازدگی ایجاد میکنند. شکل دانه‌ها به هنگام حمل و نقل نیز تغییر میکند. شکل اولیه دانه به هنگام رها شدن از منشأ که خود تابعی از سنگ شناسی و فرایند هوازدگی می‌باشد در تغییر شکل‌های بعدی دانه موثر است. با افزایش مسافت حمل، شکل دانه تغییرات بیشتری خواهد کرد. در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ اشکالی از دانه‌های موجود در آبرفت‌های تهران مشاهده می‌شود.

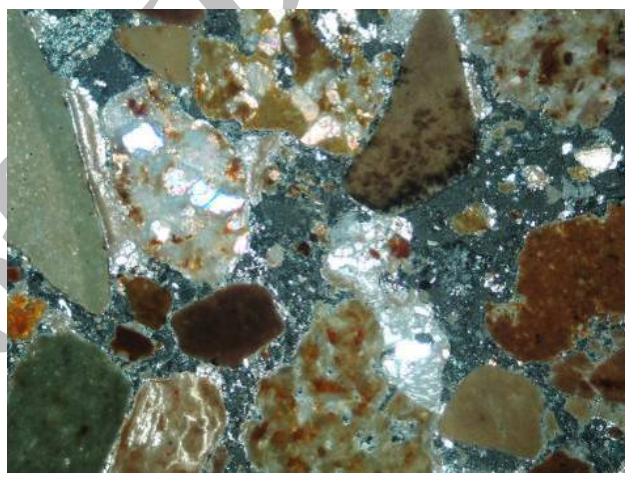
۶-۲- توزیع اندازه ذرات

توزیع اندازه ذرات نیز همچون شکل ذرات متأثر از ویژگیهای سنگ منشأ، مسافت حمل شده و عامل انتقال است. در یک محیط رسوبگذاری چنانچه رسوبات از چندین منشأ مختلف سرچشمه گرفته باشند و عامل حمل و نقل یکسان باشد، ذرات با اندازه های مختلف مشاهده خواهد شد. تاثیر هوازدگی بر روی سنگ منشا نیز به نوعی در توزیع اندازه دانه‌ها موثر است. هوازدگی مکانیکی باعث شکسته شدن قطعات به ذرات ریزتر شده بدون اینکه تغییری در ترکیب کانی شناسی و شیمیایی دانه‌ها ایجاد نماید در حالیکه هوازدگی شیمیایی باعث تجزیه و تغییر در ترکیب کانی شناسی دانه‌ها می‌گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۱۸- وجود دانه های به شکل نیمه مدور در رسوبات سازند A تهران، عکس مربوط به انتهای کوی نصر و عمق ۷ متری می‌باشد .



شکل ۱۹- وجود دانه های به شکل تیز گوشه و نیمه مدور در رسوبات سازند A تهران، عکس مربوط به انتهای کوی نصر و عمق ۷ متری می باشد (مقطع میکروسکپی با نور پلاریزه و بزرگنمایی 5x).

عامل حمل کننده رسوبات در توزیع اندازه دانه‌ها موثر است. رسوبات حمل شده توسط باد دارای اندازه های یکسان می‌باشند و جورشدگی خوبی از نظر زمین شناسی دارند. در حالیکه رسوبات حمل شده توسط یخچالها دارای اندازه های متفاوت می‌باشند و جورشدگی خوبی از نظر زمین شناسی ندارند (حرمی ۱۳۶۷). رسوبات حمل شده توسط آب تابعی از قدرت و شدت سیلابها می‌باشند . برای آبرفت‌های گستره تهران منشأ دانه‌های اولیه و تا حدودی عامل انتقال یکسان می‌باشد. منشأ آبرفت‌های تهران توفهای سازند کرج می‌باشد (البته هر آبرفت قدیمی خود منشائی برای آبرفت‌های جدید محسوب می‌شود). عامل انتقال برای آبرفت‌های تهران عموما جریانهای سیلابی و رودخانه ای است، برای آبرفت‌های B به دلیل ناهمگنی موجود در اندازه رسوبات، احتمال حمل رسوبات بوسیله یخچال نیز گزارش شده است (بربریان و همکاران ۱۳۶۴). بنابراین مهمترین عامل بروز اشکال مختلف و تنوع در اندازه دانه‌ها، برای آبرفت‌های تهران مسافت حمل شده است. با دور شدن از منشأ سیلابها و افزایش عمق حوضه رسوبی و کاهش ارتفاع، اندازه دانه‌های راسب شده کاهش میابد. بهمین دلیل در گستره تهران در بخشهای جنوبی رسوبات ریز دانه و در بخشهای شمالی رسوبات درشت دانه وجود دارد. در جدول ۳ اثر این عوامل بر روی آبرفت‌های مختلف تهران با هم مقایسه شده است.

۶-۳- سن رسوبات

درخاک‌های درشت دانه با گذشت زمان بدلیل نهشته شدن کربناتها، هیدروکسیدها و مواد آلی، عوامل محیطی نظیر انحلال و رسوب گذاری برخی مواد درنقاط تماس دانه‌ها، جوش خوردگی دانه‌ها دراثر فشار زیاد، تبلور مجدد برخی از کانیها در اثر هوازدگی و وجود لایه آب جذب شده در اطراف دانه‌ها و بین ذرات پیوند هایی بوجود میآید و خاک ساختار (Structure) پیدا میکند. ایجاد پیوند بین دانه‌های خاک مقدمه سنگ زائی (Diagenous) می‌باشد. پر واضح است با گذشت زمان فرایند سنگی شدن توسعه یافته و متناسب با آن خواص مکانیکی مصالح بهبود خواهد یافت.

جدول ۳- مقایسه عوامل موثر در شکل و اندازه دانه ها برای آبرفتهای تهران

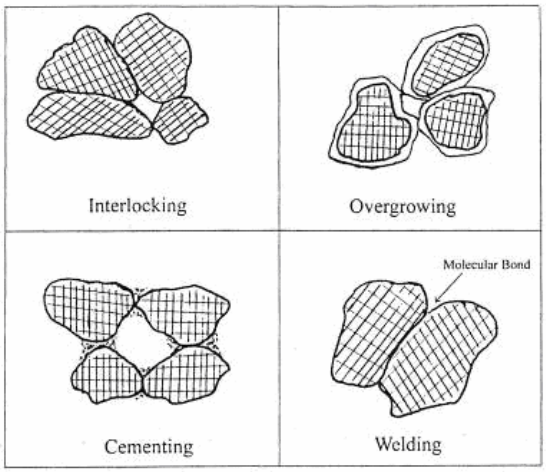
سازند	منشأ	مسافت حمل شده	عامل انتقال	توضیحات
A	عمدتا سنگهای توفی و شیلی (سازند کرج ۹۰٪ و مابقی بقیه سنگها)	حداکثر ۱۶ کیلومتر	جریانهای سیلابی	
B	سازند کرج ، سازند A	حداکثر ۲۲ کیلومتر	جریانهای سیلابی و یخچال	بخش ریز دانه این سازند مسافت بیشتری طی کرده است
C	سازند کرج ، سازند A و سازند B	حداکثر ۳۰ کیلومتر	جریانهای رودخانه ای و سیلابی	
D	سازند کرج ، سازند A ، سازند B و سازند C	بیشتر از ۵۵ کیلومتر	جریانهای رودخانه ای و سیلابی	بخش درشت دانه این سازند مسافت کمتری طی کرده است

Archive of SID

www.SID.ir

۶-۴- سیمانی شدن

مهمترین عامل متصل کردن دانه‌ها در خاک‌های درشت دانه، سیمانی شدن (Cementation) می‌باشد. سایر عوامل متصل کردن دانه‌ها به یکدیگر در خاک‌های درشت دانه قفل و بست دانه‌ها (Interlocking)، رشد دانه‌ها (Overgrowing) و جوش خوردگی (Welding) می‌باشند (Barton 1993). در شکل ۲۰ عوامل متصل کردن دانه‌ها در خاک‌های درشت دانه بطور شماتیک نشان داده شده است. چسبندگی واژه ای است که برای رسها بکار میرود. از نظر مکانیک خاکی واژه چسبندگی (C) یکی از متغییرهای مقاومت برشی است و در هر خاکی میتواند بروز کند. اتصال دانه‌ها که در این مقاله بکار رفته است بصورت کلی موجب بروز چسبندگی (C) در خاک می‌شود.



شکل ۲۰- عوامل اصلی متصل کردن دانه ها به یکدیگر در خاکهای درشت دانه (Barton, 1993).

مهمترین عامل متصل کردن دانه‌ها و ایجاد چسبندگی درآبرفت‌های تهران سیمانی شدن می‌باشد (اصغری ۱۳۸۱). میزان سیمان شدگی رسوبات بر حسب بافت اولیه آبرفت، جنس و شکل ذرات، سن زمین شناسی، وضعیت آب زیر زمینی، ژرفا و هوازدگی تغییر میکند. سیمانی شدن آبرفت‌های تهران اغلب ثانویه بوده ودر اثر نهشته شدن املاح شیمیایی از آبهای زیرزمینی بوجود آمده است. جنس مواد سیمانی کربناتی و بویژه کلسیتی است. بلورهای کلسیت جزء مواد تشکیل دهنده سنگهای مادر تشکیل دهنده آبرفت‌های تهران به شمار می‌آیند که با انحلال و رسوب مجدد در بین ذرات موجب سیمانی شدن آبرفت‌ها می‌شوند.

در شکل ۲۱ نمونه‌ای از سیمانی شدن کلسیتی در آبرفت‌های سازند A مشاهده می‌شود. گاها چسبندگی ناشی از سیمانی شدن دانه‌ها از مقاومت حداکثر دانه بیشتر می‌شود، این مسئله در شکل ۲۲ نشان داده شده است. این عکس مربوط به نمونه‌ای است که مورد آزمایش برش برجا در عمق ۱۳ متری از سطح زمین قرار گرفته است، همانطور که ملاحظه می‌شود دراثر اعمال نیروی برشی قبل از اینکه دانه‌ها از محل اتصال به یکدیگر شکسته شوند، خود دانه شکسته شده است، این امر نشان دهنده مقاومت بالای سیمان ثانویه بین دانه‌ها می‌باشد.

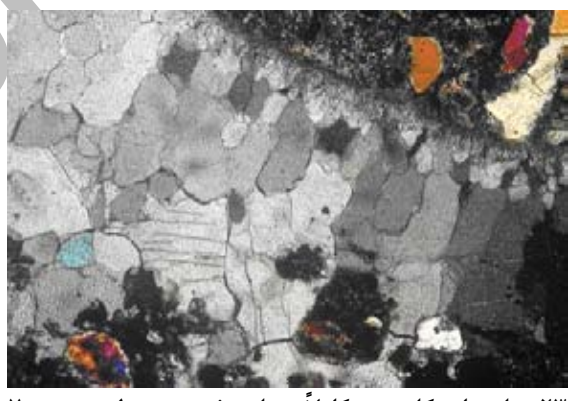
در شکل‌های ۲۳ و ۲۴ رشد بلورهای کلسیتی که در بین دانه‌ها قرار گرفته اند در مقطع میکروسکپی نشان داده شده است. لازم به ذکر است که تهیه مقاطع میکروسکپی از کلوخه های اخذ شده از آبرفت‌ها تهران عملا کار ساده ای نبوده لیکن در این تحقیق به منظور بررسی شکل دانه‌ها و سیمان بین آنها مقاطع میکروسکپی تهیه شده است. در شکل ۲۳ بلورهای کلسیتی کاملا متبلور شده و شکل هندسی خود را

شکل ۲۱- رسوبگذاری کلسیت به صورت ثانویه و متصل کردن دانه ها به همدیگر در آبرفتهای سازند A تهران (عمق ۷ متری، شمال کوی نصر).

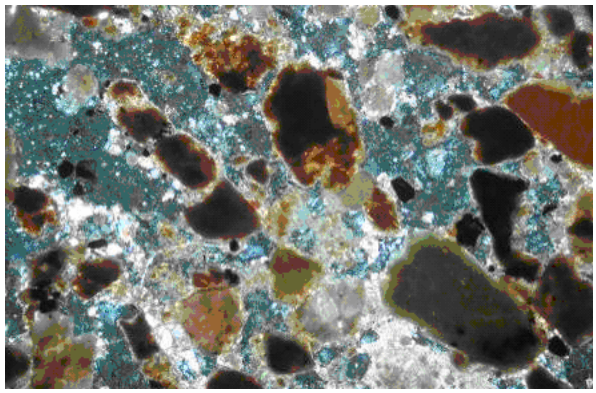
Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۲۲- شکسته شدن یک دانه در اثر اعمال تنش برشی در آزمون برش مستقیم برجا (محل انجام آزمایش در انتهای کوی نصر و در عمق ۱۳ متری از سطح زمین می باشد).

پیدا نموده اند ولی در شکل ۲۴ هنوز بلورها بطور کامل متبلور نشده اند. پر واضح است که با توجه به نقش سیمان، زمانی که مواد تشکیل دهنده سیمان بین دانه‌ها کاملا متبلور شده باشند مقاومت سیمان نسبت به حالتی که هنوز این مواد تبلور کامل نیافته اند بیشتر خواهد بود. نتایج آزمایش برش مستقیم برجای انجام شده در این محل صحت این نتیجه گیری را تایید می‌کند (چشمی ۱۳۸۵).



شکل ۲۳- بلورهای کلسیتی کاملاً متبلور شده، مربوط به عمق ۷ متری سازند A در انتهای کوی نصر(مقطع میکروسکپی با بزرگنمایی۵X و نورپلاریزه).



شکل ۲۴- رشد بلورهای کلسیتی که در بین دانه ها قرار گرفته اند، مربوط به عمق ۱۳ متری سازند A در انتهای کوی نصر (مقطع میکروسکپی با بزرگنمایی۵X و نورپلاریزه).

۶-۵ - نحوه تماس ذرات به یکدیگر

تماس ذرات خاک درشت دانه یک رسوب با یکدیگر به صورت نقطه‌ای، طولی، تحدب و تقعر (قفل و بست) و مواد خمیره‌ای (بافت شناور) انجام می شود (Sitar 1983). در خاک‌های با دانه‌های گردشده و دارای دانه بندی یکنواخت تماس دانه‌ها به یکدیگر به صورت نقطه ای و طولی می‌باشد. زمانی که تماس دانه‌ها به صورت نقطه ای است، چگالی خاک کاهش مییابد و زمانی که تماس دانه‌ها طولی است، چگالی خاک بیشتر می‌شود. تماس تحدب و تقعر دانه‌ها بیشتر در خاک‌های با ذرات زاویه دار دیده می‌شود. بارتون (Barton 1993) قفل و بست دانه‌ها را بعنوان عاملی که باعث متصل شدن دانه‌ها به یکدیگر و بروز چسبندگی بین آنها می‌گردد عنوان نموده است. در تماس دانه‌ها بوسیله مواد خمیره ای دانه‌ها در یک بافت ریز دانه شناورهستند. این بافت معمولا در رسوبات با دانه بندی گسسته (Gap graded) دیده می‌شود. این چهار نوع تماس دانه‌ها در شکل ۲۵ نشان داده شده است.

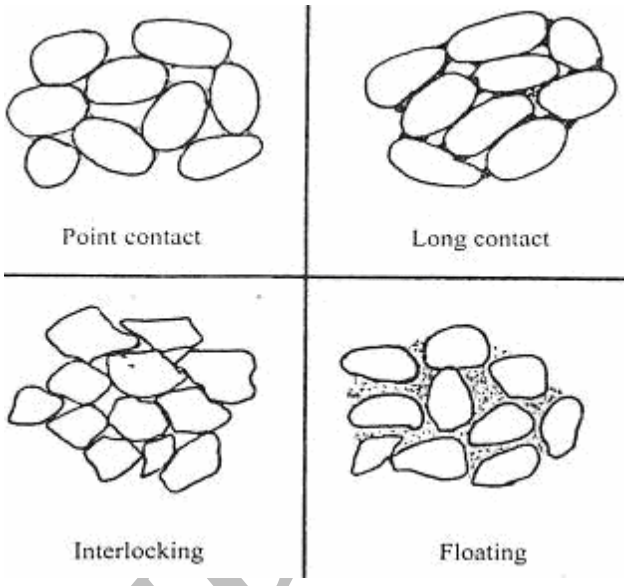
در آبرفت‌های A تهران، شکل دانه‌ها نیمه مدور و تیزگوشه می‌باشد و تماس دانه‌ها بیشتر بصورت تحدب و تقعر و کمتر با مواد خمیره‌ای است. در آبرفت‌های B وD ، شکل دانه‌ها متغییر و گرد گوشه است و تماس دانه‌ها با همدیگر بوسیله مواد خمیره‌ای می‌باشد و در آبرفت‌های C، دانه‌ها عموما تیز گوشه هستند و تماس دانه‌ها با همدیگر بیشتر با مواد خمیره‌ای و کمتر بصورت قفل و بست می‌باشد. در شکل‌های ۲۶ و ۲۷ نمونه‌ای از تماس دانه‌ها در آبرفت‌های تهران نشان داده شده است.

۶- ۶- گسل و شکستگی

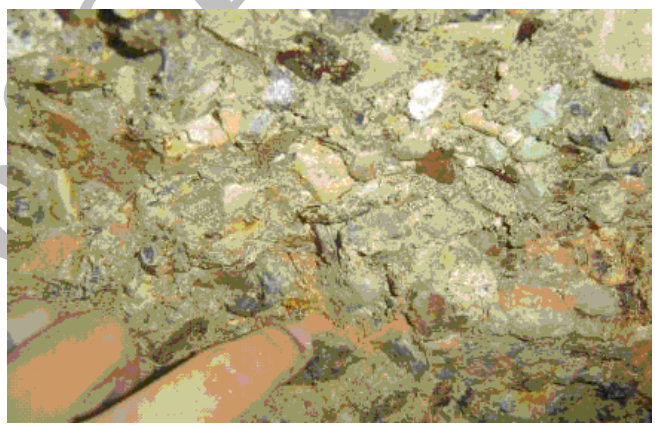
با توجه به اینکه آبرفت‌های درشت دانه تهران سیمانی شده هستند لذا گسلها و شکستگیها باعث کاهش مقاومت این آبرفت‌ها می‌گردد. از طرفی وجود این سطوح ضعف باعث گسترش فرایندهای هوازدگی و جریان یافتن آب در امتداد این سطوح می‌شود، هوازدگی و جریان آب با انحلال سیمان بین دانه‌ها باعث کاهش مقاومت آبرفت‌ها میگردند.

Archive of SID

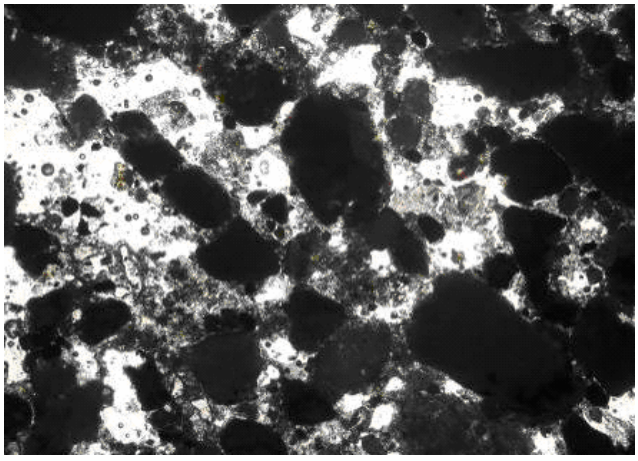
www.SID.ir



شکل ۲۵- انواع متداول تماس دانه ها در خاکهای درشت دانه (Sitar, 1983).



شکل ۲۶- تماس دانه ها بصورت تحدب و تقعر و در بعضی قسمتها وجود رس که در بین دانه ها قرار گرفته، شکل مربوط به عمق ۱۵ متری و در بزرگراه رسالت (حوالی میدان آرژانتین) میباشد



شکل ۲۷- تماس دانه ها بصورت طولی، تحدب وتقعر و مواد خمیری، شکل مربوط به رسوبات سری A در عمق ۷ متری و در جنوب برج میلاد میباشد. (مقطع میکروسکپی با بزرگنمایی x ۲,۵).

۶- ۷- هوازدگی

هوازدگی عاملی است که باعث کاهش مقاومت آبرفت‌ها می‌گردد. همانطور که در بخش ۱ و ۲ ذکر شد هوازدگی تاثیر مستقیمی بر روی شکل دانه‌ها و توزیع اندازه ذرات دارد، علاوه برآن بخش‌هایی از آبرفت‌ها که درمعرض مستقیم هوا و آب می‌باشند کاهش چشمگیری در مقاومت پیدا میکند.

۶-۸- بررسی مقایسه ای اثر عوامل زمین‌شناسی

در جدول ۴ بطور اختصار عوامل زمین شناسی موثر بر ویژگیهای ژئوتکنیکی آبرفت‌های تهران برای چهار گروه آبرفت‌ها با هم مقایسه شده است. با توجه به اطلاعات ذکر شده در این جدول و نتایج ۱۱ آزمایش برش مستقیم برجا و بارگذاری صفحه ای انجام شده در ۳ چاهک و ۹ گالری افقی حفر شده (چشمی ۱۳۸۵) به عنوان مثالهایی از متغیرهای مکانیکی این آبرفت‌ها میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی و مدول الاستیسیته برای آبرفت A تهران بر اساس آزمایشهای انجام شده در گالریهای افقی در محل ۱ و ۳ بین ۴۸ تا ۱۶۰ کیلو پاسکال، ۴۰ تا ۵۴ درجه و ۱۴۱ تا ۲۱۷ مگاپاسکال بوده است. در گالریهای حفر شده در عمق ۱۳ متری در محل شماره ۳ شکل ۱۵ با توجه به وجود جریان آب و انحلال سیمان بین دانه‌ها چسبندگی و مدول الاستیسیته کمترین مقدار را داشته، از طرف دیگر در همین چاهک و در گالریهای حفر شده در عمق ۷ متری بدلیل سیمان قوی بیشترین مقدار چسبندگی و مدول الاستیسیته اندازه گیری شده است. مقادیر بیشتر زاویه اصطکاک داخلی در گالریهای حفر شده در محل ۱ بوده که علت آن درشت دانه تر بودن، قفل و بست بیشتر دانه‌ها و نیز تیز گوشه بودن دانه‌ها در این محل نسبت به محل ۳ بوده است.

ب) چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی و مدول الاستیسیته برای آبرفت C تهران بر اساس آزمایشهای انجام شده در گالریهای افقی حفر شده در محل ۲ بین ۵۵ تا ۱۳۴ کیلو پاسکال، ۳۳ تا ۴۷ درجه و ۳۷ تا ۶۷ مگاپاسکال بوده است. با توجه به اینکه در بخشی از گالری افقی حفر شده در محل شماره ۲ شواهد انحلال سیمان وجود داشت لذا مقادیر کمتر چسبندگی و مدول الاستیسیته در این محلها اندازه گیری شد. از طرف دیگر بدلیل وجود قطعات با اندازه مختلف مقادیر اندازه گیری شده برای زاویه اصطکاک داخلی یکسان نبوده، بطوریکه با افزایش اندازه دانه‌ها و تیز گوشگی آنها زاویه اصطکاک داخلی افزایش یافته است.

ج) سن آبرفت‌های A بیشتر ازC بوده لذا فرایند سیمانی شدن در آبرفت A بیشتر توسعه یافته است، بهمین دلیل چسبندگی آبرفت‌های A بیشتر از C می‌باشد. وجود مصالح ریز دانه در آبرفت C باعث افزایش تماس دانه‌ها با مواد خمیره‌ای و کاهش قفل و بست بین دانه‌ها شده

Archive of SID

www.SID.ir

که نتیجه آن کمتر شدن زاویه اصطکاک داخلی و مدول الاستیسیته در این آبرفت نسبت به آبرفت A می‌باشد. افزایش دانه‌های به شکل مدور وکمتر شدن دانه‌های تیزگوشه و نیز کوچکتر بودن اندازه دانه‌ها در آبرفت C باعث کمتر شدن زاویه اصطکاک داخلی این آبرفت نسبت به آبرفت A شده است.

د) با توجه به وجود دانه‌های بسیار درشت در آبرفت‌های B و D امکان انجام آزمایشهای برجا در این آبرفت‌ها فراهم نگردید. لیکن با توجه به بررسیها و پیمایشهای انجام شده در این تحقیق مشخص گردید که بررسیهای ژئوتکنیکی در بخش ریز دانه آبرفت‌های B و D با روشهای متداول امکانپذیر است. ولی در بخش درشت دانه این آبرفت‌ها بدلیل ناهمگنی آبرفت‌ها و وجود قطعات با اندازه در حد رس تا قطعات چند متری و نیز سیمان ضعیف بین دانه‌ها برای تعیین متغیرهای ژئوتکنیکی نیاز به رفتار سنجی و مونیتورینگ ساختمانهای احداث شده بر روی آنها می‌باشد.

۷- نتیجه گیری

با توجه به موارد ذکر شده می توان نتایج زیر را در رابطه با آبرفت‌های درشت دانه تهران گرفت:

۱- اساس طبقه‌بندیهای زمین‌شناسی ارئه شده برای آبرفت‌های تهران مثل طبقه‌بندی ریبن سن رسوبات می‌باشد و عوامل موثر بر خواص ژئوتکنیکی مثل سیمانی شدن، نحوه اتصال و تماس دانه‌ها به همدیگر، اندازه و شکل دانه‌ها در مقیاس مطالعات ژئوتکنیکی را در نظر نمی گیرد. لذا کاربرد این طبقه‌بندیها برای مباحث ژئوتکنیکی محدود است.

۲- نقشه زمین‌شناسی تهیه شده توسط آژانس همکاریهای بین الملل ژاپن با داده های استخراج شده از برخی چاهکهای حفاری شده و پیمایش های انجام شده در این تحقیق انطباق بیشتری دارد.

۳- مناطق تپه ای و باشیب زیاد در تهران عمدتا از آبرفت‌های سازند های A و B تشکیل شده است. مناطق پست تر و با شیب حدود ۵ تا ۱۰ درجه که مخروط افکنه های قدیمی را تشکیل می‌دهد عمدتا از آبرفت‌های سازندC تشکیل شده اند. بخش درشت دانه آبرفت‌های سازند D مخروط افکنه های جوان و بخش ریز دانه این آبرفت دشتها و مناطق هموار را تشکیل می‌دهد.

۴- شکل دانه‌ها، منحنی توزیع اندازه ذرات، سن رسوبات، سیمانی شدن، نحوه اتصال و تماس دانه‌ها به همدیگر، گسل وشکستگی و هوازدگی از عوامل زمین شناسی موثر بر خواص ژئوتکنیکی آبرفت‌های تهران می‌باشد. عواملی چون جنس سنگ منشأ، عامل انتقال رسوبات (باد، آب و یخچال) و مسافت حمل شده نیز بر شکل دانه‌ها و توزیع اندازه آنها موثر است.

۵- در آبرفت A تماس دانه‌ها با یکدیگر بیشتر به صورت تقعر و تحدب و کمتر بوسیله مواد خمیره ای است. درحالیکه در آبرفت C تماس دانه‌ها بیشتر بوسیله مواد خمیره‌ای می‌باشد. در آبرفت‌های B و D تماس دانه‌ها عموما بوسیله مواد خمیره ای بوده و بافت شناور در آنها بیشتر دیده می‌شود. بر اساس بررسیهای انجام شده مشخص گردید که مقادیر متغیر های ژئوتکنیکی (چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی و مدول الاستیسیته) آبرفت A بیشتر از آبرفت C است. دلیل آن بیشتر بودن تماس تقعر و تحدب در آبرفت A و بیشتر بودن بافت شناور در آبرفت C می‌باشد. علاوه بر آن سن بیشتر آبرفت A، توسعه سیمانی شدن در آن و بیشتر بودن دانه‌های تیز گوشه در این آبرفت باعث بالاتر بودن متغیرهای ژئوتکنیکی این آبرفت نسبت به آبرفت‌های C شده است.

منابع:

آژانس همکاری های بین الملل ژاپن، ((JICA ۱۳۸۰: گزارش ریز پهنه بندی لرزه ای تهران بزرگ. تهیه شده برای مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ، ۳۸۱ .

اصغری، ا. ۱۳۸۱: تاثیر سیمانی شدن بر مقاومت برشی و تغییر شکل پذیری خاک‌های درشت دانه با نگرشی به آبرفت‌های تهران. پایان نامه دکتری زمین شناسی مهندسی. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده علوم پایه. ۲۵۲ صفحه.

امینی م. ۱۳۷۳: ویژگیهای ژئوتکنیکی رسوبات کواترنر دشت تهران. مجموعه مقالات نخستین سمپوزیوم بین المللی کواترنر. دانشگاه تهران. ۱۷۱-۱۷۵.

بربریان م.، قریشی، م.، ارژنگ، ا.، مهاجر اشجعی، ا. ۱۳۶۴: پژوهش و بررسی ژرف نو زمین ساخت و خطر زمینلرزه، گسلش در گستره تهران و پیرامون. گزارش شماره ۵۶ سازمان زمین شناسی کشور.

پهلوان ب. ۱۳۸۱: مطالعه تغییر شکل پذیری آبرفت درشت دانه تهران با استفاده ازپرسیومتر. پایان نامه دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده علوم پایه. ۲۸۵ صفحه.

حرمی ر. ۱۳۶۷: رسوب شناسی. انتشارات آستان قدس رضوی. ۴۷۹ صفحه.

جعفری م و همکاران، ۱۳۸۱: گزارش مطالعات ریز پهنه بندی لرزه ای جنوب تهران. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. ۷۴

جعفری، م و همکاران، ۱۳۸۱: گزارش ریز پهنه بندی لرزه ای شمال تهران از دیدگاه شرایط ساختگاه. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. ۸۴.

جعفری، م و همکاران، ۱۳۸۱: گزارش مطالعات تکمیلی ریز پهنه بندی لرزه ای جنوب تهران. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. ۱۲۶.

چشمی ا.، ۱۳۸۵: مطالعه خواص مکانیکی آبرفت تهران بر اساس آزمون ها معمول و ابزار ساده مکانیکی. پایان نامه دکتری زمین شناسی مهندسی. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده علوم پایه. در حال انجام.

Archive of SID

www.SID.ir

چشمی ا و همکاران، ۱۳۸۴: گزارش مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیک مسیر خط ۳ متروی تهران. مدیریت پروژه های ژئوتکنیک و مطالعات ساختگاهی موسسه مهندسین مشاور ساحل. ۵۳ .

چشمی ا و همکاران، ۱۳۸۴: گزارش مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیک مسیر خط ۷ متروی تهران. مدیریت پروژه های ژئوتکنیک و مطالعات ساختگاهی موسسه مهندسین مشاور ساحل. ۳۴.

Barton M.E. 1993: Cohesive sands: the natural transition from sands to sandstone. Proc. Geotechnical Engineering of Soft Rock-Hard Soils, Anagnostopoulos et al. (eds.), Balkema, Rotterdam. 367-374Sitar N. 1983: Slope stability in coarse sediments. Proc. Geotechnical Environment and Soil Properties, Huston. *Am. Soc. Civ. Engrs.* 82-98.

Archive of SID

www.SID.ir