ویژگیهای آبرفتهای جنوب تهران از دیدگاه ژئوتکنیک لرزه ای

نوشته : دکترمحمد کاظم جعفری*، محمد کشاورز بخشایش**، عبدا... سهرابی** و آرش رزمخواه

Seismic geotechnical Properties of South Tehran alluviums

By: Dr. M.K. Jafari*, M. K. Bakhshayesh**, A. Sohrabi,and A. Razmkhah***

چکیده:

شناخت ویژگیهایی ژئوتکنیک لرزه ای آبرفتها به منظور بررسی اثرات ساختگاهی و ریز پهنه بندی لرزه ای مناطق شهری از اهمیت زیادی برخوردار است. مطالعه خصوصیات ژئوتکنیکی و دینامیکی آبرفتهای محدوده جنوب تهران با وسعت ۴۸۰ کیلومتر مربع و در محدوده مختصات جغرافیایی ′۳۴ °۳۵الی ′۴۲ °۳۵ شمالی و ′۱۶ °۵۱الی ′۳۲ °۵۱ خاوری ، موضوع تحقیق حاضر بوده است. تأثیر فرآیندهای آب و هوایی از یک سو و فعالیتهای تکتونیکی جوان از سوی دیگر سبب برجای گذاشته شدن رسوبات آبرفتی متنوع در دشت تهران شده است. خصوصیات زمین شناسی عمومی آبرفتهای گستره تهران توسط محققین زیادی مورد مطالعه قرارگرفته است. با اینحال و علیرغم انجام فعالیتهای عمرانی و حفر گمانه های اکتشافی متعدد در این آبرفتها، ویژگیهای ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی آنها بویژه در مقیاس منطقه ای کمتر مورد توجه قرارگرفته است. در مطالعه حاضر با تلفیق داده های ژئوتکنیکی حدود ۷۰۰ حلقه گمانه با اعماق ۵ الی ۱۰۰ مترو اطلاعات لرزه ای بدست آمده از کاوشهای ژئوفیزیکی در ۵۷ نقطه از نواحی جنوبی دشت تهران، ۱۵ مقطع ژئوتکنیک لرزه ای دو بعدی از آبرفتهای جنوب تهران تهیه گردیده است. در این مقاطع که بصورت خاوری - باختری و به فاصله یک کیلومتر از همدیگر تهیه شده اند، ویژگی های دینامیکی و ژئوتکنیکی لایه های خاک و روند تغییرات این پارامترها در اعماق مختلف نشان داده شده است. بررسی مقاطع مذکور نشان می دهد که عمق سنگ کف لرزه ای از شمال به جنوب منطقه افزایش یافته و خاکهای منطقه از نظر بافت و سرعت موج برشی از تنوع بیشتری برخوردار می شوند. همچنین تأثیر گسل شمال ری و ادامه گسل شمالی جنوبی پونک درتغییرات بوجودآمده در عمق سنگ بسترلرزه ای و سطح آب زیرزمینی در مقاطع تهیه شده قابل توجه می‌باشد.

واژه های کلیدی: آبرفتهای تهران، ریزپهنه‌بندی، سرعت موج برشی، مقاطع دو بعدی

Abstract

Despite of different studies performed on Tehran geological condition, the geotechnical and dynamic properties of Tehran alluviums are not investigated in detail. In this study the authors have tried to get more detail information about south Tehran alluviums by compiling the data from 700 boreholes and 66 seismic profile investigations. The defined 15 two dimentional E-W seismic geotechnical profiles by the distance of 1km present the geotechnical and dynamic properties of the south Tehran alluviums. Based on these sections the depth of the seismic bedrock increases from north to the south. In addition it is demosntrated that S wave velocity variation in the study area follows the difference of soil type observed in the presented sections. It seems that the local changing of the water table and the seismic bedrock depth could be related to North-Ray fault and Punakhzad fault effects.

Keywords: Tehran's Alluviums, Microzonation, Shear Wave Velocity, 2-D Sections

۱- مقدمه

شهر تهران برروی نهشته های آبرفتی کواترنر بنا شده است. این آبرفتها توسط سیلابهائی که در اواخر ترشیاری و همزمان با برپائی ارتفاعات البرز از این ارتفاعات سرچشمه گرفته اند، در نواحی دامنه ای و پست برجای گذاشته شده اند. رسوبات آبرفتی گستره تهران در سده گذشته و به ویژه در طی پنج دهه اخیر توسط محققین مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. اغلب این محققین رسوبات آبرفتی تهران را از دیدگاه زمین شناسی مورد مطالعه قرار داده و براساس زمان تشکیل واختصاصات عمومی آنها تقسیم بندی های متعددی از این آبرفتها ارائه داده اند. در بین این تقسیم بندیها که امروزه بیشتر مورد استفاده و توجه قرار می گیرد می توان به طبقه بندی Rieben(1955) اشاره نمود که رسوبات آبرفتی تهران براساس آن از قدیم به جدید به چهار دسته A، B، C و D رده بندی شده است(نقل ازبربریان و همکاران، ۱۳۷۱).

هر چند که با مطالعه تقسیم بندی رسوبات از نظر زمان تشکیل، می توان اطلاعاتی در رابطه با تاریخچه تکوین حوزه رسوبگذاری و روند تغییرات رسوبات در آن بدست آورد ، با اینحال نمی توان در خصوص ویژگیها و پارامترهای مهندسی آن که بیشتر در مطالعات عمرانی کاربرد دارند، اظهار نظر نمود. نمونه بارز این ضعف را می توان در قرارگرفتن دو گروه از رسوبات ریزدانه سیلتی و رسی کهریزک و نهشته های ناهمگن درشت دانه شمال تهران در گروه « B» جدول طبقه بندی ریین مشاهده نمود. چنین وضعیتی در مورد آبرفتهای عهد حاضر تهران نیز مشاهده می شود. درحالیکه در نواحی شمالی دشت تهران، نهشته های رسوبی واحد "D" اغلب از قلوه سنگها و رسوبات درشت دانه شنی تشکیل شده است ، در نواحی جنوبی(پایین تر از خیابان جمهوری) اجزاء تشکیل دهنده این واحد اغلب ریزدانه و بیشتر رسی است.

برخلاف نهشته های رسوبی برجا گذاشته شده در محیط های دریایی که سن رسوبات کمک شایانی در ارزیابی اولیه اختصاصات آنها می نماید، بدلایل فوق استفاده از تقسیم بندی براساس زمان تشکیل در مورد رسوبات قاره ای و سیلابی، همانند نهشته های رسوبی دشت تهران، از نظر ارزیابیهای مهندسی و ژئوتکنیکی از اهمیت اندکی برخوردار است.ازاینرو به منظور دستیابی به شرایط ژئوتکنیکی و پارامترهای مهندسی این آبرفتها،کاوشهای ژئوتکنیکی و مطالعات شناسایی در هر محل الزامی است. در مطالعه حاضر به منظور تقسیم بندی ویژگی های ژئوتکنیک لرزه ای آبرفتهای گستره جنوب تهران(پایین تر از خیابانهای انقلاب و آزادی)، از تلفیق نتایج حاصل از بررسیهای ۷۰۰ گمانه ژئوتکنیکی، ۵۷ آزمایش لرزه نگاری شکست مرزی و ۹ آزمایش لرزه نگاری درون چاهی به روش سطح به گمانه (Down hole) استفاده شده است. این بررسیها در قالب طرح ملی تحقیقات« مطالعات تکمیلی ریزپهنه بندی لرزه ای جنوب تهران » بوده که توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله به انجام رسیده است.

۲- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل بخش عمده ای از نواحی جنوبی شهرتهران، مشتمل بر منطقه های ده الی بیست از مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران می باشد. این ناحیه از شمال به خیابانهای انقلاب و آزادی، از باختر به امتداد رودخانه کن، از خاور به ارتفاعات خاوری و از جنوب به منتهی الیه مناطق پانزده و بیست تقسیمات شهرداری محدود می شود. از نظر مختصات جغرافیایی این منطقه میان طولهای جغرافیایی ′۱۶ ،°۵۱ الی ′۳۲ ,°۵۱ شرقی و عرضهای جغرافیایی ′۳۴ ,°۳۵ الی ′۴۲ , °۳۵ شمالی قرارگرفته است. توپوگرافی ناحیه مورد مطالعه به جز نواحی خاوری که مرتفع و سنگی است بیشتر هموار بوده و بیشینه اختلاف ارتفاعی مناطق پست و مرتفع آن حداکثر به ۵۰ متر بالغ می شود. در شکل۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه تقسیمات مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران نشان داده شده است.

۳- زمین شناسی نهشته های آبرفتی گستره تهران

نهشته های آبرفتی تهران، موضوع تحقیق و بررسی زمین شناسان متعددی بوده است. اولین بار Rieben(1955) (نقل از بربریان و همکاران، ۱۳۷۱) بر پایه ویژگیهای چینه شناسی، رسوبات آبرفتی دامنه های جنوبی البرز را مورد مطالعه قرارداده و نهشته های مذکور را به چهار بخش بنام سازندهای A، B، C، و D تقسیم نمود که در بین آنها نهشته های A قدیمی تر و سری D جدیدترین سازندها محسوب می شوند.

همین تقسیم بندی ، پایه ای برای مطالعات بعدی گردیده و از آن زمان تاکنون تغییر عمده ای در این تقسیم بندی بعمل نیامده است. بعد از ریین زمین شناسان خارجی و داخلی این نهشته ها را طبق همان تقسیم بندی مطالعه کرده اند. Engalen(1968) (نقل از بربریان و همکاران، ۱۳۷۱) با

استفاده از ویژگیهای زمین ریخت شناسی، تقسیمات دیگری برای رسوبات آبرفتی گستره تهران پیشنهاد نمود که چندان از تقسیم بندی رپین متمایز نیست.

رسوبات آبرفتی جنوب البرز حالت تشتکی را دارد که در راستای شمال باختر به جنوب خاور کشیده شده و پوشیده از رسوبات آبرفتی غیر یکنواخت است که اغلب برروی بستر غیر قابل نفوذی از رسوبات مارنی میو- پلیوسن قرار گرفته اند. رپین اشکال ناقدیسی و ناودیسی این رسوبات را تابع بخشهای بالا آمده و یا فرو افتاده سنگ کف دانسته ولی مطالعات ژئوفیزیکی و بررسی چاههای اکتشافی که برای تعیین سنگ کف لرزه ای حفر شده اند، نشان دهنده آن است که اغلب عمیقترین مناطق آبرفتی، با مسیر مهمترین رودخانه های منطقه مطابقت دارد.

ویژگیهای رسوب شناختی نهشته های آبرفتی تهران بیانگر آن است که این رسوبات ، حاصل فعالیت رودخانه ها و سیلابهای فصلی هستند که از زمان پلیوسن پسین تاکنون از دامنه های جنوبی ارتفاعات البرز منشأ گرفته اند. اختصاصات چینه شناسی، سنگ شناسی، ریخت شناسی و سن نهشته های آبرفتی تهران سبب می گردد که بتوان این رسوبات را به بخشهای جداگانه ای تقسیم نمود. بررسی نهشته های آبرفتی گستره تهران و پیرامون، تأثیر دوفاز کوهزایی برروی آنها را نشان می دهد که به سبب ندانستن سن دقیق نهشته های آبرفتی، زمان دقیق رویداد این فازها روشن نشده است. در فاز اول کوهزایی، نهشته های آبرفتی سازند A بشدت چین خورده است. در فاز دوم کوهزایی که ضعیفتر بوده است، لایه های آبرفتی سری B در بیشتر جاها شیب دار(۵ تا ۱۰ درجه) شده اند. زمان رویداد این فاز کوهزایی حدود ۵۰۰۰۰سال پیش تعیین شده است. نهشته های سازند C که برروی آنها قرار گرفته است دارای لایه بندی افقی می باشند. محدوده گسترش هریک از سازند های آبرفتی، درنقشه زمین شناسی گستره تهران که از تلفیق نقشه های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی کشور ونقشه ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده توسط Abbasi and Shabanian(1997) بدست آمده نشان داده شده است(شکل۳).

در حال حاضر مشکل عمده جهت روشن شدن مسایل زمین شناسی و شناسایی خطوط تماس سازند های مختلف کواترنری در سطح شهر تهران، پوشیده بودن سطح زمین توسط مناطق و تأسیسات شهری می باشد که در مجموع کا رشناسایی این سازندها را با مشکل مواجه می سازد. تنها اطلاعات مهمی که در شناخت آنها مورد استفاده قرار میگیرد، حاصل حفاری های انجام شده در سطح شهر وتراشه های موجود است.

٤- زمین شناسی مهندسی و خصوصیات ژئوتکنیکی

از بارزترین ویژگیهای آبرفتهای محدوده مورد مطالعه می توان به کاهش تدریجی و کم و بیش منظم اندازه ذرات تشکیل دهنده رسوبات از نواحی شمال و شمال باختر به سمت جنوب و جنوب باختری اشاره نمود. در مطالعه حاضر مشخص گردیده است که نواحی شمالی ناحیه مورد مطالعه (بالاتر از خیابان جمهوری) تا ژرفای قابل ملاحظه ای توسط رسوبات درشت دانه شامل شن و ماسه(Gravel & Sand) پوشیده شده است. رسوبات درشت دانه یاد شده مربوط به آبرفتهای واحدD می باشند و اندازه ذرات آنها به ٤٠ سانتی متر نیز می رسد. در بخشهای کوچکی از شمال و باختر ناحیه مورد مطالعه نهشته های رسوبی مربوط به سازندC وجود دارند که از اختصاصات عمده آنها می توان به تراکم بالا و جورشدگی به نسبت زیاد اجزاء رسوبی آن اشاره نمود. حداکثر اندازه قطعات رسوبی این واحد به ۲۰ سانتی متر بالغ می شود. رسوبات واحد D شامل آبرفتهای جوان با سن کمتر از ۱۰ هزار سال می باشند که بصورت پوشش نازکی و با بیشینه ستبرای ۱۲متر ،رسوبات کواترنر پسین را پوشانده است. این رسوبات بصورت مخروط افکنه های پهن و وسیع می باشند که با فاصله گرفتن از دامنه ارتفاعات اندازه ذرات تشکیل دهنده آن کوچکتر شده و در مناطق کم ارتفاع و پست به سیلت ورس تبدیل می شوند. در شمال محدوده مورد مطالعه(منطقه طرشت و حوالی خیابان وصال) اجزاء تشکیل دهنده آن درشت دانه شنی و ماسه ای است. همچنین رسوبات حاصل از فعالیت رودخانه های عهد حاضر نظیر کن و فرحزاد در واحد D تقسیمات آبرفتی تهران جای می گیرند. دانه بندی نمونه های اخذ شده از بخش درشت دانه این واحد رسوبی نشان می دهد که این رسوبات از دانه بندی ضعیفی برخوردار بوده و اغلب در تقسیم بندی یونیفاید(USCS) در رده های GP، SP و GCقرار می گیرند. با بررسی نتایج حاصل از آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) در آبرفتهای این محدوده مشخص گردید، که یک لایه با مقاومت نسبتاً اندک به ستبرای حداکثر ۵ متر در بخش فوقانی آن قرارگرفته است. به نظر می رسد تأثیر عوامل جوی و فیزیکی سبب کم شدن میزان مقاومت و تراکم آن شده است. این رسوبات در ژرفای بیش از ۵ متر از مقاومت و تراکم قابل ملاحظه ای برخوردار می باشند. شایان ذکر است در تعدادی از گمانه های حفر شده در این مناطق، در بین لایه های رسوبات درشت دانه بصورت محلی لایه ها و عدسیهای از رسوبات ریزدانه (اغلب سیلت) به ستبرای حداکثر یک متر مشاهده می شود. چنین حالتی در گمانه های موجود در حوالی میدان و خیابان آزادی بیشتر به چشم می خورد. گسترش جانبی این لایه ها محدود

بوده و غالباً بصورت عدسیهای محدود می باشند.

بخش عمده ای از نواحی جنوبی و جنوب باختری ناحیه مورد مطالعه توسط نهشته های ریـــزدانه (سیلت ورس) پوشـــیده شده است. تبدیل نهشته های درشت دانه به رسوبات ریزدانه با ایجاد یک ناحیه حد واسط (Transition Zone) همراه بوده است که بصورت نوار باریکی به پهنای حداکثر ۲ کیلومتر و طول ۸ کیلومتر مابین خیابانهای جمهوری تا امام خمینی و در امتداد خاوری - باختری گسترش پیدا کرده است. از ویژگیهای عمده آن می توان به تغییر دائمی جنس و تراکم نهشته ها در جهات افقی و عمودی اشاره نمود، بطوریکه ارتباط دادن(Correlation) گمانه های نزدیک به هم نیز در این محدوده بسیار دشواراست.

همانگونه که پیش از این اشاره گردید، نهشته های ریزدانه بخش قابل توجهی از نواحی جنوبی تهران را به خود اختصاص داده اند. این رسوبات بیشتر از شاخص خمیری (Plasticity Index) و حد روانی (Liquidity Index) پایینی برخوردار بوده و به جز در چند نمونه که ازگمانه های حفرشده درحوالی بزرگراه و پارک بعثت بدست آمده بودو دارای خاکهای رسی با شاخص خمیری بالائی می باشند(CH) ، در بقیه نقاط این رسوبات از شاخص خمیری پایینی برخوردارهستند (CL,MLوML-CL) .

درمطالعه حاضرتمامی رسوبات به دوگروه بزرگ درشت دانه و یا رسوبات غیر چسبنده (Non-Cohesive) با وجه غالب ماسه و شن با علامت اختصاری(N) و ریزدانه یا چسبنده (Cohesive) که بیشتر بصورت سیلت و رس بوده و با علامت اختصاری(C) تقسیم بندی گردیده اند. شرح کامل نحوه طبقه بندی خاکهای تهران براساس نتایج آزمایش نفوذ استاندارد و سرعت موج برشی آنها در ادامه ارائه شده است.

نتایج بررسیها نشان می دهد که نهشته های ریزدانه تهران اغلب خاصیت پیش تحکیمی(Overconsolidation) داشته و نتایج آزمایشات صورت گرفته برروی نمونه های مختلف، نسبت پیش تحکیمی(OCR) حدود ۲ الی ۳ را نشان می دهد. علل پیش تحکیمی نهشته های مذکور را می توان به عوامل زیر نسبت داد:

۱-بالا آمدن نهشته های ژرف در اثر پدیده های تکتونیکی کواترنر و در نتیجه فرسایش نهشته های سطحی؛

۲-تغیرات (Fluctuation) سطح آب زیرزمینی؛

۳-آبگیری به هنگام رسوبگذاری(Desiccation)؛

۵- تهیه مقاطع ژئوتکنیک لرزه ای

ویژگیهای ژئوتکنیکی و دینامیکی لایه های خاک از مهمترین پارامترهای مؤثر در مطالعه اثرات ساختگاهی ناشی از زمین لرزه محسوب می شوند. جنس، ستبرا، وضعیت لایه بندی ،تراکم و سفتی، دانسیته طبیعی و سطح آب زیرزمینی از جمله پارامترهای ژئوتکنیکی می باشند که برآورد دقیق هریک از آنها در دقت نتایج بدست آمده از تحلیل دینامیکی آبرفت تأثیر بسزایی دارند. همچنین سرعت موج برشی (ShearWaveVelocity) لایه های خاک در برآورد پاسخ لرزه ای ساختگاه از اهمیت فراوانی برخوردار است.

ارزیابی هر یک از پارامترهای ژئوتکنیکی و دینامیکی یاد شده مستلزم داشتن اطلاعات کافی از وضعیت خاکهای تحت الارضی مناطق مختلف می باشد. حفر گمانه های ژئوتکنیکی و انجام آزمایشات آزمایشگاهی و صحرائی و همچنین بررسیهای ژئوفیزیکی، ابزارهای لازم به منظور برآورد دقیق این پارامترها محسوب می شوند. در مطالعه حاضر با بررسی و تلفیق نتایج حاصل ازمطالعات ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی ، ویژگی های ژئوتکنیک لرزه ای آبرفتهای جنوب تهران در۱۵ مقطع عرضی به فاصله یک کیلومتر از همدیگر نشان داده شده است.

مراحل زیر برای تهیه مقاطع ژئوتکنیک لرزه ای به انجام رسیده است:

۱- بررسی و مطالعه گزارشات، مقالات، نقشه ها و کتابهای منتشر شده در مورد زمین شناسی عمومی و چینه شناسی آبرفتهای محدوده تهران و همچنین انجام بررسیهای صحرائی متعدد به منظور مطالعه مقاطع رسوبی در گستره شهر تهران؛

۲- مطالعات ژئوتکنیکی با استفاده از گمانه های حفاری شده در سطح تهران شامل جمع آوری داده های گمانه ای از شرکتها و مؤسسات مختلف، حفر گمانه های ژئوتکنیکی جدید درمناطقی که اطلاعات ژئوتکنیکی اندکی در آنها موجود بوده است؛

۳- انجام آزمایشات صحرائی ژئوفیزیکی از نوع شکست مرزی و درون چاهی در مناطق خاصی که در بررسیهای زمین شناسی و ژئوتکنیکی مورد شناسایی قرارگرفته بودند.

اطلاعات بیشتر در خصوص مطالعات ژئوتکنیکی ، نتایج بررسیهای ژئوفیزیکی و همچنین تلفیق و نتیجه گیری از این بررسیها در ادامه ارائه می گردد.

۵-۱- اطلاعات گمانه های ژئوتکنیکی

حفر گمانه های متعدد به منظور اجرای پروژه های عمرانی و تأسیسات شهری سبب شده است تا اطلاعات ژئوتکنیکی قابل توجهی از آبرفتهای

گستره شهر تهران بدست آید. با اینحال جمع آوری و استفاده از اطلاعات این گمانه ها بدلیل پراکندگی آنها در مؤسسات و شرکتهای خصوصی و دولتی مختلف و تا حدودی بدلیل عدم استفاده پیمانکاران و مشاوران از استانداردهای یکسان در انجام حفاری و آزمایشات ژئوتکنیکی، خالی از اشکال نیست. کار جمع آوری اطلاعات گمانه های حفاری شده در گستره شهر تهران، از سال ۱۳۷۲ همزمان با شروع کار پهنه بندی لرزه ای منطقه جنوب باختری شهر تهران آغاز گردیده است. برای گردآوری این اطلاعات به تمامی شرکتها و مهندسین مشاور دست اندکار و صاحبان ساختمانهای خصوصی و همچنین مراکز دولتی که گمان می رفت دارای مطالعات و اطلاعات ژئوتکنیکی باشند مراجعه شده است. غیر از چند مورد محدود که دارندگان چنین اطلاعاتی حاضر به همکاری نشدند، بیشتر اطلاعات موجود درمراکز یاد شده جمع آوری شده اند. در حال حاضر آرشیو به نسبت کاملی از اطلاعات ژئوتکنیکی آبرفتهای تهران در پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله گردآوری شده است.تعداد لوگ گمانه های گردآوری شده برای محدوده جنوب تهران حدود ۷۰۰ گمانه برای ۳۷۰ محل جداگانه می باشد. تعداد گمانه های موجود در هر محل از ۱ تا ۱۱ متغیرمی باشند. همچنین در راستای انجام هر چه دقیقتر پروژه ریزپهنه بندی لرزه ای منطقه جنوب شهر تهران و تکمیل اطلاعات ژئوتکنیکی در مناطق مختلف، علاوه بر گمانه ها جمع آوری شده تعداد۲۶ حلقه گمانه به نسبت ژرف (حداکثر ٦٤ متر) توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله حفاری شده است.

از جمله اطلاعات مفید دیگر، پویزه در ارزیابی بافت خاک و وضعیت لایه بندی آنها در بخشهای مختلف تهران، می توان به بررسیهای صورت گرفته برروی گودبرداریها و ترانشه های ایجاد شده برای اهداف عمرانی اشاره نمود. ازمهمترین گودبرداریها می توان به گود برداریهای مربوط به پروژه جمع آوری آبهای سطحی تهران، پروژه جمع آوری فاضلاب شهرتهران و همچنین گودبرداریهای مربوط به احداث ایستگاههای مترو اشاره نمود که در بعضی مناطق ژرفای آنها به بیش از ۲۰ متر بالغ می رسد. در ضمن در امتداد خیابان نواب گودبرداریهای متعددی صورت گرفته است که مورد بررسی قرار گرفته اند.

مسیل کن که در حاشیه باختری منطقه از شمال تا جنوب کشیده شده است دارای دیوارها و مقاطع با ارزشی از آبرفت منطقه می باشد. در بخشهای شمالی ارتفاع دیواره های آن به بیش از ۱۵ متر نیز می رسد ولی در قسمتهای جنوبی از چند متر تجاوز نمی کند. تقریباً تمامی طول مسیل کن که در محدوده مورد مطالعه قرار گرفته پیمایش و مورد بررسی واقع شده است. در واقع می توان آن را به عنوان برشی شمالی- جنوبی از منطقه قلمداد کرد که بویژه در بخشهایی از منطقه که دارای اطلاعات گمانه ای اندکی است، اطلاعات با ارزشی را در اختیار قرار میدهد. براساس این مطالعات مشخص گردیده است که تمامی لایه های آبرفتی مورد مطالعه کم و بیش بصورت افقی بوده و شیبهای موضعی موجود در آنها اغلب ناشی از وضعیت توپوگرافی اولیه حوزه رسوبگذاری بوده است .

۵-۲- کاوشهای ژئوفیزیکی

در مطالعات مربوط به ژئوتکنیک لرزه ای، مطالعات لرزه نگاری به منظور ارزیابی سرعت امواج لرزه ای لایه های خاک و تعیین مدول الاستیک و مدول برشی آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. چراکه سرعت عبور امواج در لایه های زمین رابطه مستقیمی با جنس، تراکم، مقاومت و درصد اشباع خاک دارد. برای اندازه گیری سرعت امواج P و S خاک، روشهای مختلفی وجود دارد. امروزه علاوه برروشهای مستقیم اندازه گیری سرعت امواج در خاک، سعی می شود از روشهای غیرمستقیم نیز برای ارزیابی آن استفاده شود. روشهای مستقیم بطور کلی به دو دسته آزمایشگاهی و صحرایی تقسیم بندی می شوند که هر کدام نیز به روشهای مختلفی انجام می شود. در آزمایشگاه سرعت انتشار امواج را می توان با آزمایش ستون تشدید (Resonant column) و آزمایش بارگذاری تناوبی(Cyclic loading) بدست آورد. در صحرا نیز سرعت انتشار امواج به طرق مختلفی از جمله روشهای سطحی و درون چاهی اندازه گیری می شود. روشهای سطحی عبارتند از روش انعکاسی و روش انکساری و روشهای درون چاهی شامل روش سطح به گمانه (Down hole)، روش گمانه به سطح (Up hole) و روش گمانه به گمانه(Cross hole) می باشند که در مطالعات حاضر به منظور برآورد سرعت امواج لایه های خاک از روشهای سطحی انکساری و درون چاهی از نوع سطح به گمانه استفاده شده است.

برای انجام آزمایش لرزه نگاری، دستگاه ES- 2401 با مشخصات زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

۱- دستگاه دارای ٢٤ کانال ثبت ارتعاشات می باشد؛

۲- دستگاه قابلیت نمونه گیری به میزان ۲۰٤۸ نمونه درهر کانال را دارا می باشد؛

۳- سیگنال ضربه چکش توسط دستگاه دریافت و در زمان حدود ٤۰۰ میلی ثانیه پس از آن، دستگاه، لرزش حاصل در ژئوفن ها را ثبت

می نماید؛

٤- طول مدت زمان نمونه گیری بین ۰/۵۱ ثانیه تا ۳۲ ثانیه قابل تغییر می باشد؛

٥- منحنی های زمان- دامنه را می توان توسط مونیتور دستگاه مشاهده کرده و در صورت لزوم با اعمال بزرگنمایی دامنه؛ منحنی های ارتعاشات حاصل را مشاهده نمود. همچنین با اعمال فیلترهای مختلف می توان فرکانسهای دریافتی در محدوده مورد نظر را حفظ و بقیه را حذف نمود. بعنوان مثال فرکانس ضربات چکش در حدود ١٤ تا ١٨ هرتز می باشد. بدین وسیله می توان بسیاری از نوفه های را از رکوردها حذف نمود؛

٦- ژئوفن های مورد استفاده که توسط کابل رابط به دستگاه مرتبط می شوند، می توانند از نوع ژئوفن حساس به حرکات قائم یا حرکات افقی باشند که بسته به ثبت امواج مورد نظر استفاده می شوند؛

٧- دستگاه قابل حمل بوده و توسط باتری تغذیه می شود؛

٨- رکوردهای ثبت شده توسط دستگاه را می توان در فلاپی های کامپیوتری ذخیره کرده و برای مطالعه و تفسیر به دفتر انتقال داد.

به منظور تهیه مقاطع ژئوتکنیک لرزه ای آبرفتهای جنوب تهران، نتایج ٥٧ آزمایش لرزه نگاری سطحی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین به منظور شناخت هرچه بیشتر لایه زیر سطحی و تعیین سنگ لرزه ای و نیز تدقیق و بررسی قابلیت اعتماد نتایج حاصل از آزمایشات لرزه نگاری انکساری، مطالعات لرزه ای درون چاهی در ٩ گمانه حفاری شده در منطقه جنوب تهران انجام پذیرفته است. موقعیت آزمایشات لرزه نگاری سطحی و درون چاهی در شکل ٤ نشان داده شده است.

۵-۳-موقعیت سنگ بستر لرزه ای

تعیین و شناسایی موقعیت سنگ بستر لرزه ای به منظور انجام محاسبات تحلیل دینامیکی از اهمیت زیادی برخوردار است. موقعیت و ویژگی های سنگ بستر لرزه ای به طور لزوم در انطباق کامل با موقعیت و ویژگیهای سنگ بستر زمین شناسی نیست.در مطالعات اثر شرایط ساختگاهی، سنگ بستر لرزه ای محیطی است که سختی و تراکم و سرعت موج برشی آن از سنگ بستر واقعی کمتر بوده اما در عین حال به اندازه ای است که می توان فرض نمود که امواج در داخل آن تقویت نمی گردند. سنگ بستر واقعی به طور معمول ژرفاهای بسیار پایین تر از سنگ بستر لرزه ای واقع می گردد و می توان فرض نمود که حرکت لرزه ای این دو محیط مشابه یکدیگر می باشد. بنابراین آنچه در عملیات ریزپهنه بندی اهمیت دارد، یافتن سنگ بستر لرزه ای است و نه سنگ بستر طبیعی. سنگ بستر لرزه ای را به طور معمول با توجه به سرعت موج برشی تعیین می کنند. بنابر راهنمای TC4، سنگ بستر لرزه ای محیطی است که سرعت موج برشی آن بیش از ۹۰۰ متر بر ثانیه باشد. توصیه Ishihara and Ansal(1982)در مورد ریز پهنه بندی ژئوتکنیک لرزه ای منطقه بالکان آن بود که محیطی به عنوان سنگ بستر لرزه ای درنظر گرفته شود که سرعت موج برشی آن بین ٦٠٠ تا ١٠٠٠ متر بر ثانیه باشد.

در پروژه حاضر با توجه به تغییرات جنس خاک در ژرفا و نتایج بدست آمده از آزمونهای صحرایی انجام شده از جمله SPT و آزمایشهای لرزه نگاری صورت پذیرفته، میزان سرعت موج برشی در نظر گرفته شده برای سنگ بستر لرزه ای بسته به جنس خاک متفاوت در نظر گرفته شده است. همانگونه که در جدول ١ خلاصه شده است، سرعت موج برشی بیش از ٦٠٠ متر بر ثانیه برای خاکهای ریزدانه و چسبنده و سرعت موج برشی بیش از ٧٠٠ متر بر ثانیه برای خاکهای درشت دانه غیر چسبنده به عنوان سنگ بستر لرزه ای تعریف شده است.

۵-۴-رده بندی ژئوتکنیک لرزه ای آبرفتها

طبقه بندی خاکهای مختلف گستره مورد مطالعه براساس بافت غالب و سرعت موج برشی، از مهمترین پیش نیازهای تهیه پروفیلهای نماینده ژئوتکنیک لرزه ای محسوب می شود. مدول برشی اولیه (G_0) با سرعت موج برشی لایه های خاک یکی از مهمترین پارامترهای مورد نیاز جهت تحلیل دینامیکی آبرفت است. مدول برشی خاک(G_0) معمولاً با استفاده از سرعت موج برشی(V_S) و دانسیته جرمی خاک (ρ) محاسبه می شود. به این منظور از رابطه زیر استفاده می شود:

$$G_0 = \rho V_S^2 \quad (1)$$

تحقیقات گسترده ای توسط پژوهشگران در جهت پیداکردن رابطه ای بین V_S و G_0 و سایر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک، انجام شده است. مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است که V_S و G_0 به شدت به یکدیگر وابسته هستند. روابطی که براساس تحقیقات صحرایی برای V_S ارائه شده است، بعلت پراکندگی نتایج و محدودیت دسترسی به پارامترهای دقیق خاک، دارای تقریب هستند. بنابراین روابط تجربی همواره دارای محدودیتهایی است. از آنجایی که تمامی روشهای آزمایشگاهی و صحرایی بعلت اندازه گیری مدول یا سرعت موج برشی پرهزینه است، پژوهشگران به دنبال روشهایی هستند تا بتوانند سرعت موج برشی را به صورت غیر

مستقیم بدست آورند. یکی ازاین روشها برآورد سرعت موج برشی براساس نتایج آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) است. آزمایش نفوذ استاندارد، از سالها پیش در سطح وسیعی در پروژه های ژئوتکنیکی معمول بوده و از نتایج آن برای ارزیابی پارامترهای مختلف زمین استفاده شده است.

پژوهشگران مختلف روابط تجربی متعددی را بین اعداد SPT و V_S پیشنهاد کرده اند. از آنجا که شرایط محلی خاک تأثیر فراوانی بر روابط میان V_S و SPT بر جای می گذارد، بکار بردن این روابط برای خاکهای تهران خالی از اشکال نخواهد بود(جعفری و همکاران، ۱۳۷۵، ۱۳۷۶). در مطالعه حاضر مشخص گردید که بدلایل زیر استخراج یک رابطه ریاضی قابل استفاده ما بین V_S و SPT با دقت مورد نیاز برای تحلیل پاسخ لرزه ای آبرفت در شرایط حاضر امکان پذیر نمی باشد:

۱-کافی نبودن تعداد داده های مورد استفاده در پردازش این رابطه نسبت به روابط موجود؛

۲-تعداد اندک آزمایشات درون چاهی نسبت به آزمایشات انکساری با توجه به اینکه دقت نتایج آزمایشات درون چاهی بیشتر از نتایج حاصل از آزمایشات انکساری سطحی است؛

۳- عدم برخورداری اطلاعات ژئوتکنیکی جمع آوری شده از کیفیت و دقت یکسان و در نتیجه کارا نبودن آنها برای استفاده در پردازش داده ها؛

٤-غیر قابل اطمینان بودن نتایج آزمایشات نفوذ استاندارد صورت گرفته در خاکهای درشت دانه شنی؛

مطالعات جعفری و همکاران(۱۳۷٦ و ۱۳۷۷) نزدیکی داده های تهران باجداول پیشنهادی Ishihara and Ansal(1982) برای منطقه بالکان را نشان می دهدکه این موضوع در مطالعات حاضر نیز تأیید گردید. بنابراین جدول های یادشده با توجه به مجموعه اطلاعات ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی در دسترس، اصلاح و مورد استفاده قرارگرفته است(جدول ۱).

۵-۵- شرح مقاطع ژئوتکنیک لرزه ای

به منظور ارزیابی هرچه بهتر روند تغییرات ویژگیهای ژئوتکنیکی و پارامترهای دینامیکی آبرفتهای تهران، ۱۵ مقطع عرضی از این آبرفتها ترسیم شده است. این مقاطع به فاصله یک کیلومتر از همدیگر بوده و در جهت خاوری - باختری تهیه گردیده اند. در واقع به ازای هر یک از ردیفهای سیستم شبکه ای ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر محدوده جنوب تهران، یک برش عرضی از خاکهای منطقه ارائه شده است.درشکل ۵ این مقاطع نشان داده شده است.

انتخاب مقاطع بصورت خاوری - باختری به دلیل شرایط ریخت شناسی خاص حاکم بر حوزه رسوبگذاری تهران و توسعه انواع رسوبات از سمت شمال به جنوب بوده است. از آنجا که روند و نوع رسوبگذاری آبرفتهای تهران از نواحی مرتفع شمالی به سوی نواحی پست جنوبی با آهنگ کم و بیش یکنواخت تغییر می کند، لذا بررسی و نشان دادن این تغییرات در برآورد دقیقتر ویژگیهای رسوبی و ژئوتکنیکی آنها حائز اهمیت فراوانی می باشد. در تهیه این مقاطع از حداکثراطلاعات حاصل از مطالعات صحرائی، بررسیهای ژئوتکنیکی و کاوشهای ژئوفیزیکی استفاده شده است. بطور کلی نحوه دسته بندی و استفاده از این اطلاعات برای تهیه مقاطع عرضی به ترتیب زیر بوده است:

۱- شبکه بندی محدوده مورد مطالعه با استفاده از سیستم شبکه ای با ابعاد یک کیلومتر در یک کیلومتر در سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS)؛

۲- پیاده نمودن موقعیت گمانه های جمع آوری شده، گمانه های حفاری شده توسط پژوهشگاه وموقعیت مقاطع لرزه ای شکست مرزی و آزمایشات درون چاهی انجام شده توسط پژوهشگاه ؛

۳-ارزیابی ژرفای آب زیرزمینی در هریک از واحدهای شبکه ای با استفاده از نقشه های هم عمق آب زیرزمینی که برای فصول بهار و پاییز در سالهای مختلف تهیه شده است (سازمان آب منطقه‌ای، ۱۳۷۹)؛ با استفاده از این اطلاعات پروفیل سطح آب زیرزمینی نیز بصورت خاوری - باختری برای تمام مقاطع تهیه گردیده است.

٤- در نهایت بررسی وتلفیق اطلاعات گمانه ای با داده های ژئوفیزیکی و تهیه مقاطع ژئوتکنیک لرزه ای بصورت خاوری - باختری به فاصله یک کیلومتر درتمام طول ناحیه مورد مطالعه.

شایان ذکر است که مبنای تهیه این مقاطع علاوه بر نتایج آزمایشات دانه بندی و SPT، سرعت موج برشی حاصل از کاوشهای ژئوفیزیکی انجام شده توسط پژوهشگاه بوده است و برای نهایی شدن هریک از آنها وضعیت مقاطع شمالی و جنوبی آن نیز مد نظر قرارگرفته است.

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

بطور کلی نتایج حاصل از بررسی مقاطع ژئوتکنیک لرزه ای تهیه شده با استفاده از داده های ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی به شرح زیر خلاصه می شود:

۱- اندازه ذرات خاک با فاصله گرفتن از نواحی شمالی محدوده مورد

مطالعه به تدریج کاسته می شود. مطالعه اطلاعات ژئوتکنیکی گمانه های حفاری شده نشان می دهد که تا ردیف چهارم جنس خاکهای منطقه بیشتر درشت دانه و غیرچسبنده با رده بندی GP، GC، SP و SW می باشد. اثرات نهشته های ریزدانه و چسبنده تنها در نواحی مرکزی و در ژرفای حدود ۱۵ متری مقطع لرزه ای شماره ۵ ظاهر شده و پس از آن در مقاطع جنوبی تر، بافت غالب خاکهای منطقه را تشکیل می دهد؛

۲- ژرفای سنگ بستر لرزه ای با آهنگ کم و بیش منظمی از ردیف چهارم تا ردیف دهم افزایش پیدا می کند. بطوریکه در ردیف نهم ، بیشینه ژرفای آن به ٤٥ متر نیز بالغ می شود. در ردیف دهم عمق سنگ بستر لرزه ای در اثر عملکرد احتمالی گسل رانده شمال ری بالاتر قرارگرفته و در مقاطع جنوبی تر مجدداً افزایش می یابد. شکل عمومی سنگ بستر لرزه ای زین اسبی بوده و گودترین بخش آن در نواحی مرکزی مقاطع و حدود ستونهای J، K، L، M و N قرارگرفته است. در تمام مقاطع تهیه شده، ژرفای سنگ بستر لرزه ای در محدوده های خاوری کمتر از نواحی باختری است. چنین وضعیتی بیانگر گسترش سازندهای سنگی و سخت ارتفاعات خاوری به سمت مرکز محدوده مورد مطالعه می باشد.

۳- جنس سنگ بستر لرزه ای تا مقطع شماره ٦ به طور عموم درشت دانه و غیر چسبنده بوده و پایین تر از این مقطع و در بخشهای باختری بافت غالب سنگ بستر لرزه ای به خاکهای ریزدانه و چسبنده تبدیل می گردد. به نظر می رسد خط جدایش به نسبت مشخصی با امتداد شمالی- جنوبی مابین خاکهای چسبنده و غیرچسبنده سنگ بستر لرزه ای وجود دارد.

٤- بررسی پروفیلهای تهیه شده از نقشه های هم ژرف آب زیرزمینی، بیانگر تغییرات واضح سطح آب زیرزمینی در نواحی مختلف محدوده مورد مطالعه می باشد. در حالت عمومی ژرفای پروفیل سطح ایستابی از سمت شمال به جنوب کاهش پیدا می کند. چنین وضعیتی بدلیل نبود شبکه جمع آوری فاضلاب های شهری و در نتیجه تزریق پسابها به منابع آبهای زیر سطحی و همچنین به علت روند هیدروژئولوژیکی حاکم بر جریانات آبهای زیرسطحی طبیعی است. چراکه در حالت طبیعی شیب هیدرولیکی آبهای زیرزمینی از شمال به جنوب بوده و به همین دلیل و به سبب کاهش ارتفاع در نواحی جنوبی، بالا بودن سطح آب زیرزمینی درمناطق جنوبی نسبت به شمال منطقه طبیعی می باشد.

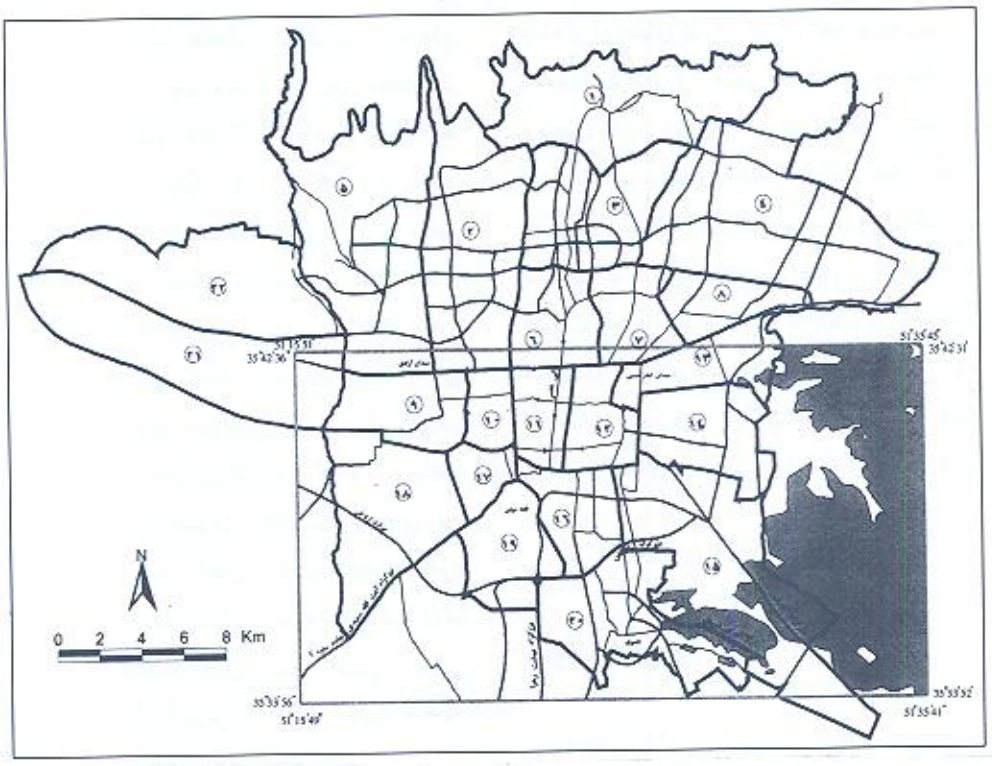
بررسی همزمان موقعیت افت سریع سطح آب زیرزمینی در پروفیلهای تهیه شده از سطح ایستابی، وضعیت مقاطع ژئوتکنیک لرزه ای و شکل مقطع سنگ بستر لرزه ای و همچنین مرز کم و بیش مشخص جدایش جنس خاکهای ریزدانه و درشت دانه درسنگ بستر لرزه ای در مناطق مرکزی تهیه شده از آبرفتهای تهران، بیانگر انطباق به نسبت خوب این سه عامل در محدوده ستونهای J تا N می باشد. تطابق سه عامل اساسی یاد شده از یکسو و وجود گسل شمالی- جنوبی پونک در شمال منطقه مورد مطالعه و در امتداد تقریبی محل عمیق شدگی سنگ بستر لرزه ای و خط جدایش خاکهای ریزدانه و درشت دانه از سوی دیگر، احتمال گسلی بودن مرز مشخص شده در این مطالعات را تقویت می کند. پیشنهاد می شود که بدلیل اهمیت این موضوع، مطالعات دقیقتری با استفاده از بررسیهای مقاومت سنجی در مسیرهای عمود برامتداد گسل احتمالی یاد شده صورت گیرد تا اطلاعات دقیقتری از ویژگیها و مکانیسم آن حاصل شود. موقعیت گسل پونک درنقشه زمین شناسی ارائه شده نشان داده شده است (شکل ۲).

سپاسگزاری

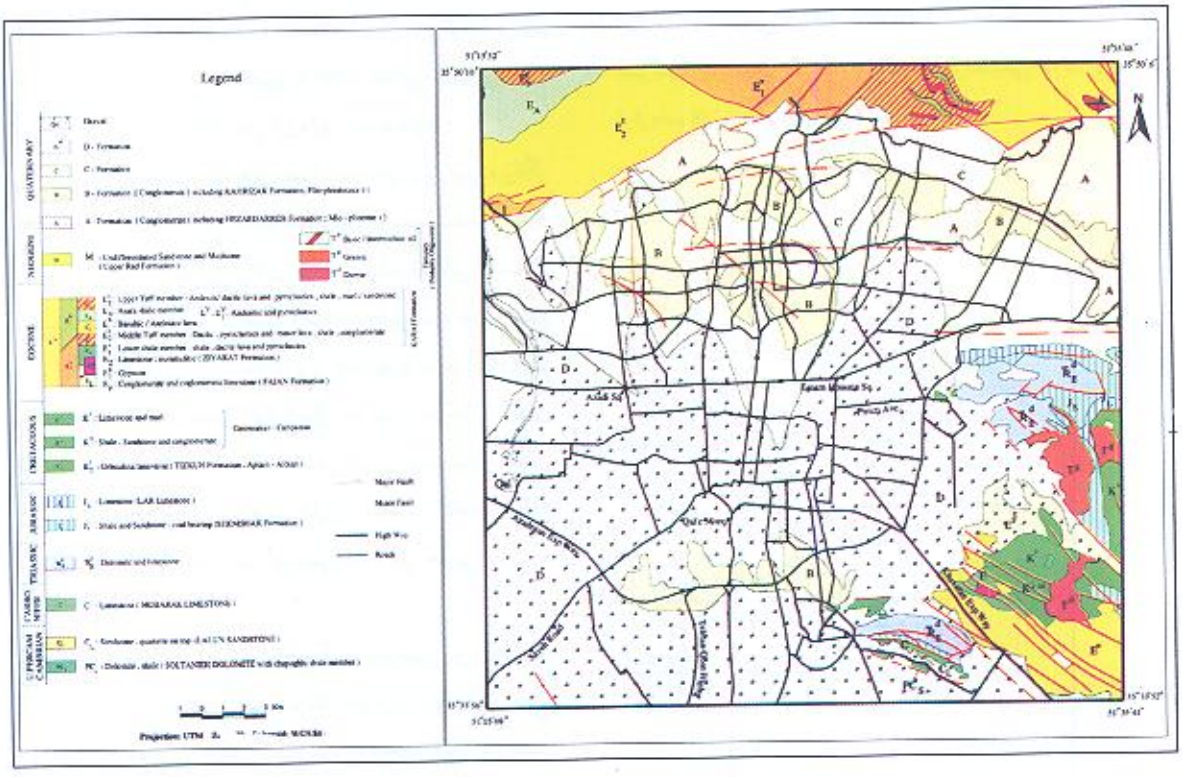
اطلاعات گمانه ای و ژئوفیزیکی مورد استفاده دراین مطالعه، توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله از منابع مختلف جمع آوری شده ویا توسط پژوهشگاه، حفاری و به انجام رسیده است.بدینوسیله از زحمات تمامی همکاران خود دراین پژوهشگاه وحسن توجه مسئولین شرکتها وموسساتی که اطلاعات ژئوتکنیکی خودرادراختیار پژوهشگاه قرارداده اندسپاسگزاری می شود.

خاکهای چسبنده					
رده خاک	C_1	C_2	C_3	C_4	CS
حدود سرعت موج برشی (V_s)	۱۲۰<	۱۲۰-۲۵۰	۲۵۰-٤۰۰	٤۰۰-٦۰۰	٦۰۰>
حدود SPT	۸<	۸-۱٦	۱٦-۳۰	۳۰-۵۰	۵۰>
خاکهای غیرچسبنده					
رده خاک	N_1	N_2	N_3		
حدود سرعت موج برشی(V_s)	۲۰۰>	۲۰۰-٤۰۰	٤۰۱-۷۱۰		۷۱۰>
حدود SPT	۱۰<	۱۰-۳۰	۳۰-۵۰		۵۰>

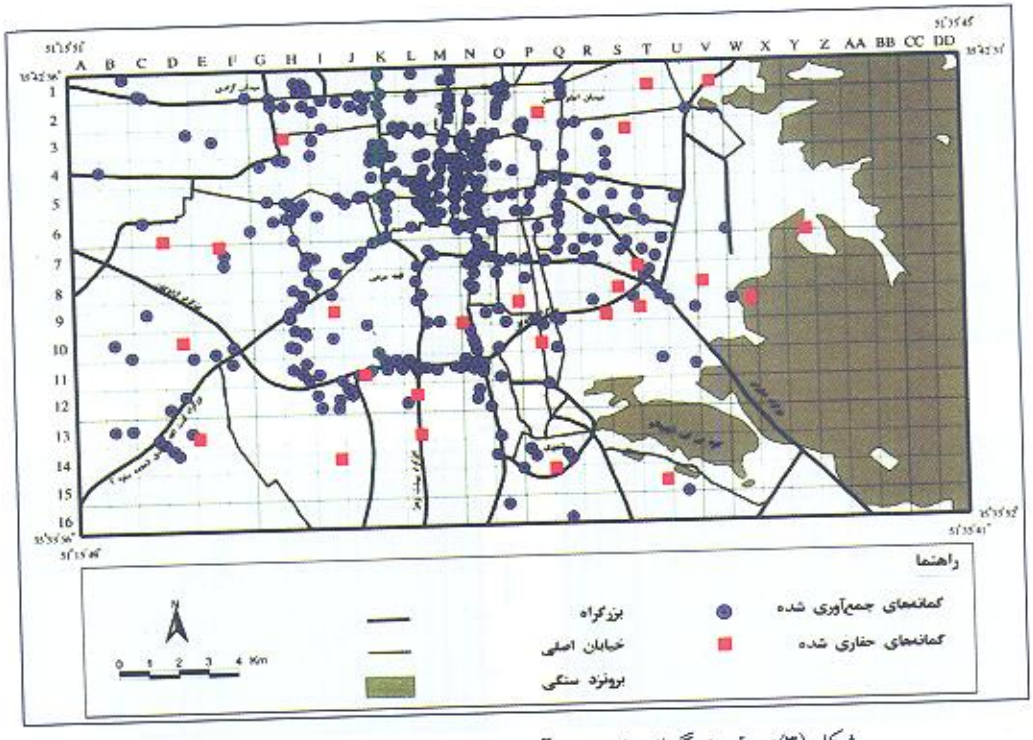
جدول۱- طبقه بندی خاکهای تهران براساس سرعت موج برشی



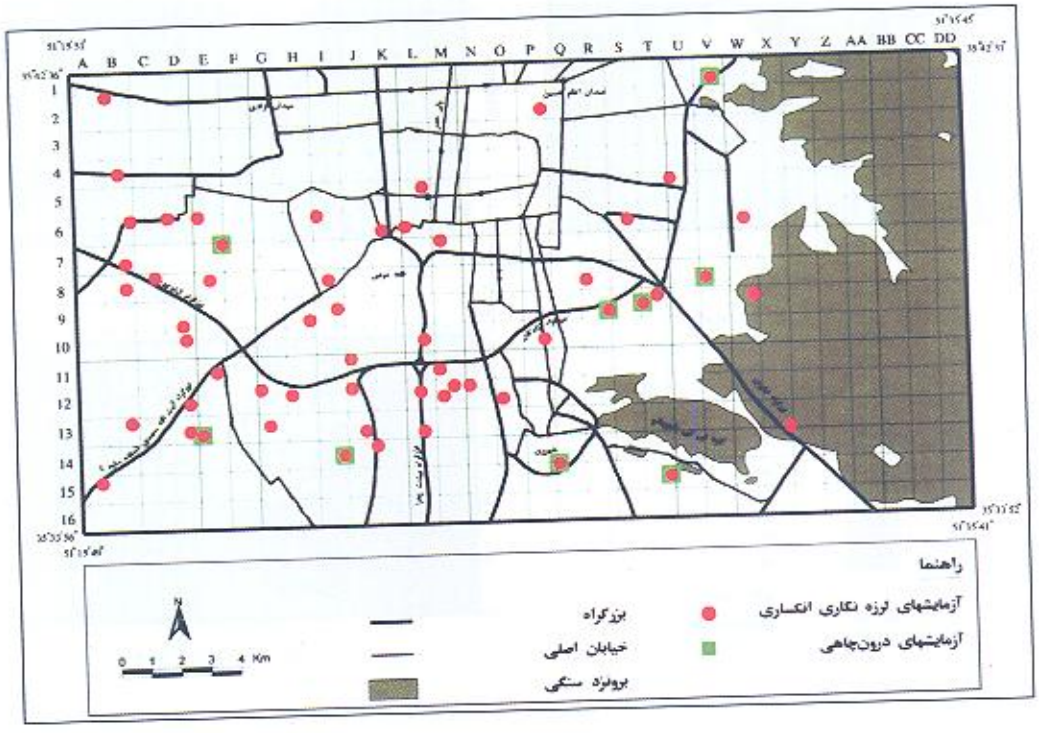
شکل شماره (۱): موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه تقسیمات شهرداری تهران



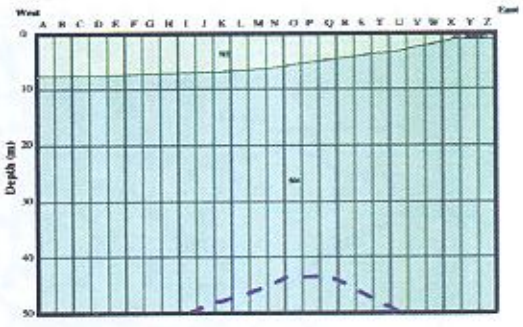
شکل شماره(۲): نقشه زمین شناسی گستره تهران



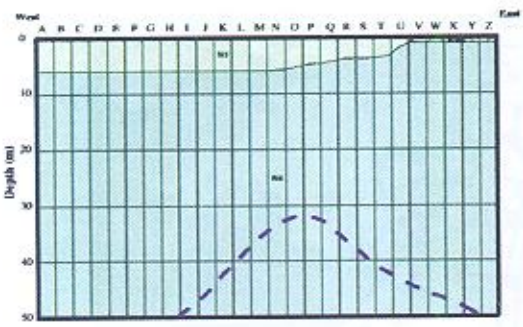
شکل (۳): موقعیت گمانه های جمع آوری شده و حفاری شده



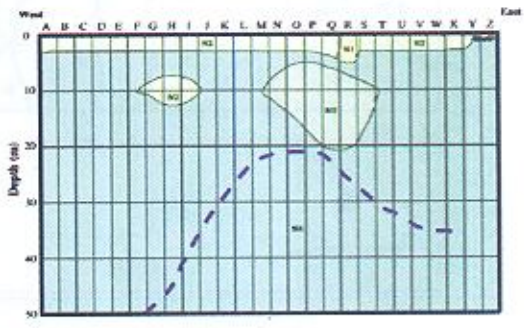
شکل (٤): موقعیت ازمایشهای لرزه نگاری انکساری و درون چاهی



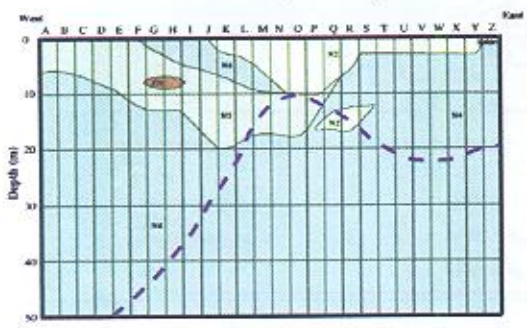
مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۱



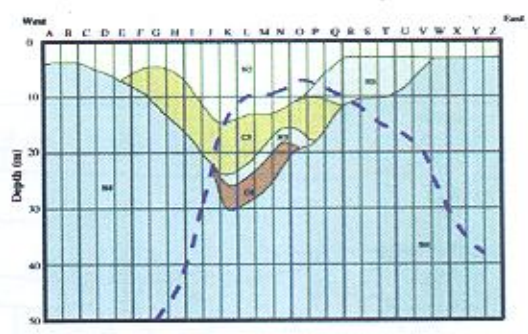
مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۲



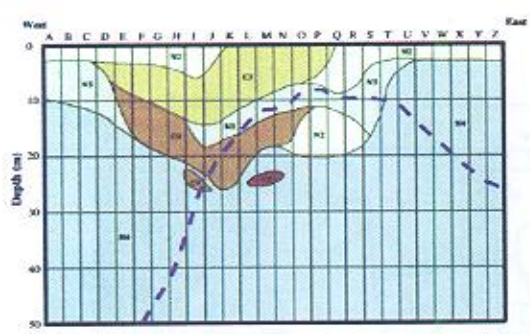
مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۳



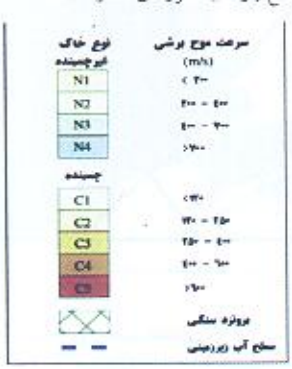
مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۴

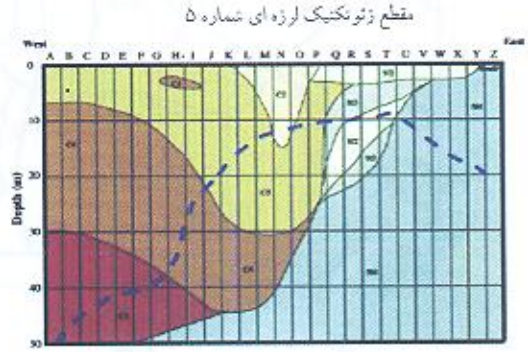


مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۵



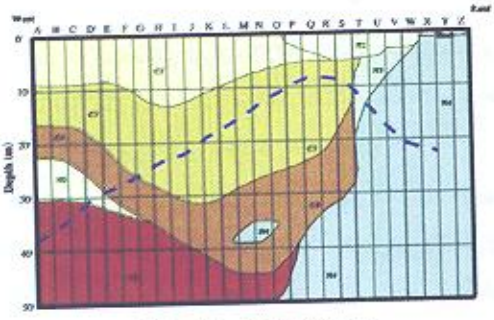
مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۶



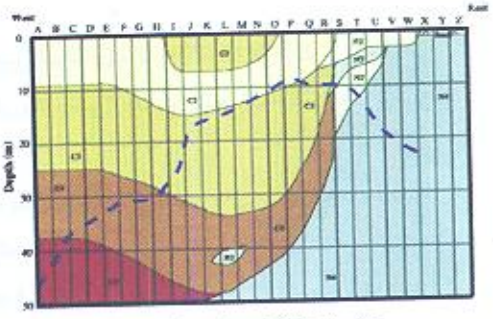


مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۷

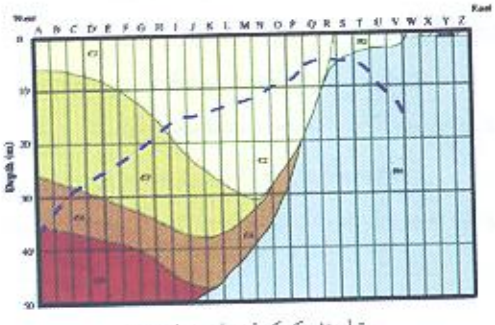
شکل (۵): مقاطع ژئوتکنیک لرزه ای آبرفتهای جنوب تهران



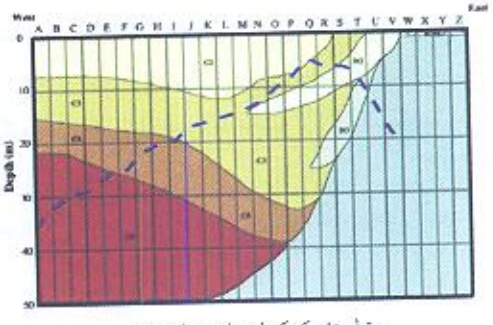
مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۹



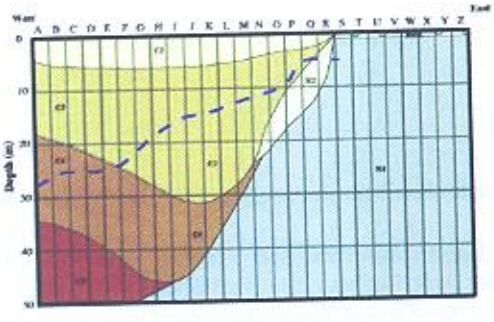
مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۸



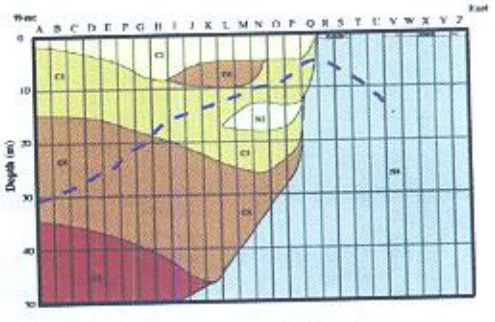
مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۱۱



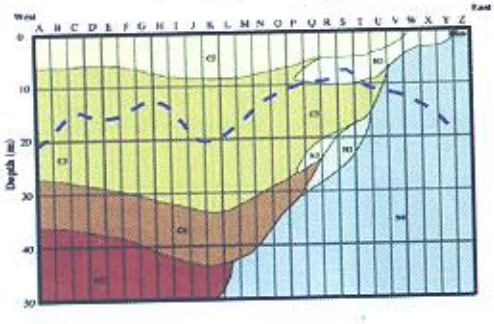
مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۱۰



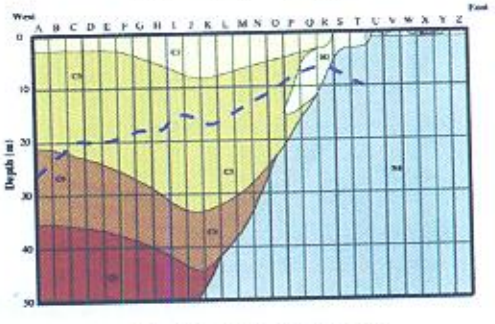
مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۱۳



مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۱۲



مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۱۵



مقطع ژئوتکنیک لرزه ای شماره ۱۴

ادامه شکل (۵): مقاطع ژئوتکنیک لرزه ای آبرفتهای جنوب تهران

کتابنگاری

امور مطالعات منابع آب سازمان منطقه ای تهران، ۱۳۷۹- نقشه هم عمق آب زیرزمینی تهران در سال ۱۳۷۸، تهران ایران.

بربریان. م ، قریشی. م، ارژنگ روش. ب و مهاجر اشجعی، ۱۳۷۱- پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت، خطر زمین لرزه، گسلش در گستره تهران و پیرامون، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره ٥٦.

جعفری. محمد کاظم؛ کمالیان. محسن و چمنزاد. مجتبی، ۱۳۷٤- ریزپهنه بندی ژئوتکنیک لرزه ای منطقه جنوب شرقی تهران از دیدگاه پدیده تشدید، مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

جعفری. محمد کاظم و اصغری. ابراهیم، ۱۳۷٦- ریزپهنه بندی ژئوتکنیک لرزه ای جنوب غربی تهران از دیدگاه تأثیرات ساختگاهی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

جعفری. محمدکاظم، پورآذین. خشایار و کمالیان. محسن، ۱۳۷۷-ریزپهنه بندی ژئوتکنیک لرزه ای جنوب شرقی تهران از دیدگاه تأثیرات ساختگاهی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

جعفری . محمد کاظم و کشاورز بخشایش. محمد، ۱۳۸۰- بررسی ویژگیهای زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی آبرفتهای تهران، دومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، تهران، ایران.

جعفری. محمد کاظم و همکاران، ۱۳۸۰-مطالعات تکمیلی ریزپهنه بندی لرزه ای جنوب تهران، برنامه ملی تحقیقات، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

Reference

Abbassi, M. R. and Shabanian,B, E. 1977-Evaluation of the stress field in Tehran region during the Quaternary, Proceeding of SEE- 3 PP. 67-84.

Ishihara, K., Ansal, A. M. 1982-Dynamic behavior of soil, soil amplification and soil structure interaction, Final Report for Working Group D, UNDP/ UNESCO Project on Earthquake Risk Reduction in the Balkan Region.

Japan Working Group TC-4 Committee, 1992- Seismic Zoning on Geotechnical Hazards, Draft Report LNEC, Lisbon, Portugal.

* Associate Prof., IIEES
** Research Staff , IIEES
*** PhD Candidate, Islamic Azad University and Research Staff in IIEES

* دانشیار پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

** کارشناس پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

***دانشجوی دکتری مهندسی عمران واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد و همکار پژوهشی پژوهشگاه