

مقاله علمی پژوهشی

ارزیابی مخاطرات لرزه‌ای در مناطق آبرفتی غرب تهران

*حسن علیزاده^۱، محمد خلیج^۱

۱. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹

Seismic Hazard Assessment in Alluvial Areas West of Tehran

*Hasan Alizadeh¹, Mohammad Khalaj²

1. Assistant Professor, Dept. of Geology, Faculty of Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran.

2. Assistant Professor, Dept. of Geology, Faculty of Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Received:13/02/2020 Accepted:19/12/2020

Abstract

The purpose of this study was to determine the vulnerable and resistant areas of alluvial areas of west of Tehran against seismic hazards. The research method included the study of important fractures, effective faults, the use of sediment diagrams of drilled boreholes and geotechnical data. Samples were examined from two aspects of density and standard penetration test. Finally, an alluvial zoning map of the western regions of Tehran was prepared and plotted against seismic hazards. According to this study, the south-eastern part of the study area has the most impact in terms of intensification of seismic waves and its northern part does not have any intensification. In addition, due to the soil quality, the possibility of liquefaction in the study area is also important. Since the city of Tehran is based on alluvial formations, it is essential for designers and builders of civil engineering projects to examine the type and extent of alluviums and their response to seismic hazards in Tehran, as these data are used by planners to strengthen different urban areas and reduce seismic hazards. In this study, for the first time, the effect of seismic waves was evaluated based on the subsurface connections of faults with alluvial areas in the west of Tehran.

Keywords

Seismic Hazards, Alluvial Zones, Geotechnical, West of Tehran.

چکیده

هدف از مطالعه حاضر، تعیین محدوده‌های آسیب‌پذیر و مقاوم مناطق آبرفتی غرب شهر تهران در مقابل مخاطرات لرزه‌ای بوده است. روش تحقیق شامل بررسی شکستگی‌های مهم، گسل‌های مؤثر، استفاده از دیاگرام‌های رسوبی گمانه‌های حفاری شده و داده‌های ژئوتکنیکی است. نمونه‌ها از دو جنبه تراکم و آزمون نفوذ استاندارد مورد بررسی قرار گرفتند و در نهایت نقشه پهنه‌بندی آبرفتی مناطق غربی شهر تهران در مقابل مخاطرات لرزه‌ای ترسیم شد. در این تحقیق برای اولین بار تأثیر امواج لرزه‌ای بر اساس ارتباطات زیر سطحی گسل‌ها با مناطق آبرفتی در غرب شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفته است. طبق یافته‌های تحقیق بخش‌های جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه، از نظر تشدید شدت امواج لرزه‌ای، دارای بیشترین تأثیر و ناحیه شمالی آن فاقد هرگونه تشدید است. علاوه بر این با توجه به کیفیت خاک، امکان وقوع روان‌گرایی نیز در منطقه مورد مطالعه، دارای اهمیت است. از آن‌جا که شهر تهران بر روی سازندهای آبرفتی بنا شده است، بررسی نوع و گسترش آبرفت‌ها و عکس‌العمل آبرفت‌ها در مقابل مخاطرات لرزه‌ای در شهر تهران برای طراحان و سازندگان پروژه‌های عمرانی بسیار ضروری خواهد بود؛ زیرا این داده‌ها در برنامه‌ریزی‌های لازم برای تقویت مناطق مختلف شهری و کاهش مخاطرات لرزه‌ای کاربرد دارد.

واژگان کلیدی

مخاطرات لرزه‌ای، مناطق آبرفتی، ژئوتکنیک، غرب تهران.

مقدمه

شناخت حریم امن شهرها در مناطق لرزه‌خیز به برنامه‌ریزان و مدیران شهری برای مدیریت ریسک و تقلیل مخاطرات لرزه‌ای کمک شایانی می‌کند. برای تهیه طرح توسعه شهر، آگاهی و شناخت کامل از طیف گسترده‌ای از عوامل مربوط به زمین، از جمله مخاطرات لرزه‌ای آن ضروری است. این خطوط راهنما، مسیر دیدگاه‌های برنامه‌ریزی کاربری اراضی در مجاورت یا روی این مناطق را بیان می‌دارد (Keer, 2016: 1). در بسیاری از مراکز شهری به دلیل شهرنشینی بدون برنامه، توسعه شهر در مناطق مخاطره‌آمیز با درجه ریسک بالا، اقدامات مدیریتی نارسا در شهر و ساخت و ساز نامناسب، مخاطرات لرزه‌ای افزایش چشمگیری داشته است (Lewis, 2017: 52).

منطقه تهران از دیدگاه زمین‌شناسی تقریباً در مرز دو منطقه زمین‌ساختی مهم توران و ایران مرکزی قرار دارد. با اعمال نیروهای زمین‌ساختی حاصل از فشرده شدن پوسته زمین در این ناحیه ساختارهای رسوبی ناهماهنگی‌های زمین‌ساختی موجود را به وجود آورده‌اند و با ادامه و تشدید فعالیت‌های زمین‌ساختی علاوه بر ایجاد ساختارهای چین‌خورده، باعث شکستگی‌های بزرگ در قشر رسوبی و همچنین در پی‌سنگ شده است که این روند هنوز ادامه دارد (آقاباتی، ۱۳۸۴: ۳۵۷).

از آن‌جا که شهر تهران بر روی مناطق آبرفتی بنا شده است، شناخت رفتار نهشته‌های آبرفتی و واکنش آن‌ها در مقابل امواج لرزه‌ای ناشی از زمین لرزه‌ها، برای طراحی و ساخت پروژه‌های عمرانی در این شهر بسیار اهمیت دارد. این نتایج در پروژه‌های مهم و حیاتی از جمله خطوط انتقال آب، گاز و توسعه مناطق مسکونی کاربرد وسیع داشته و عدم توجه به آن‌ها می‌تواند خسارات زیادی را ایجاد کند.

با توجه به این که بیش‌تر نقشه‌های تهیه شده مربوط به آبرفت‌ها و یا گسل‌های شهر تهران و پیرامون آن، براساس مطالعات سطح زمین انجام شده است، نمی‌توان ارزیابی مناسبی از رفتار آبرفت‌ها و گسل‌ها در عمق زمین به دست آورد. بنابراین این سوال پیش می‌آید که محدوده‌های آسیب‌پذیر و مقاوم مناطق آبرفتی غرب شهر تهران در مقابل مخاطرات لرزه‌ای کدامند؟

در این مطالعه با استفاده از داده‌های ژئوتکنیک و مطالعات زیرسطحی براساس زمین‌شناسی ساختاری در غرب تهران، نقشه گسترش مناطق آبرفتی و ارتباط آن‌ها با فعالیت گسل‌ها در عمق‌های مختلف تهیه شد. این داده‌ها با دیگر اطلاعات از جمله میزان نفوذ آب‌های زیرسطحی، وزن مخصوص خاک، تعداد ضربات برای نفوذ استاندارد و نیز رفتار آبرفت در برابر لرزه، تلفیق و برای اولین بار تاثیر امواج لرزه‌ای بر اساس ارتباطات زیر سطحی گسل‌ها

با مناطق آبرفتی در غرب شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفت.

مبانی نظری**چارچوب نظری**

زلزله پدیده‌ای طبیعی است که بی‌توجهی به آن خسارات جبران ناپذیری به دنبال خواهد داشت. زلزله حالت خاصی از تغییر شکل توده‌های سنگی است که در آن پدیده گسیختگی در مقیاس متفاوت و می‌دهد. عامل ایجاد امواج لرزه‌ای پاسخ زمین به انرژی‌های اندوخته است.

بنا به تعریف سازمان ملل، هر رویداد فیزیکی و پدیده یا فعالیت‌های انسانی به گروه مخرب که ممکن است موجب تلفات جانی و یا آسیب و خسارت به مال اختلال اجتماعی و اقتصادی محیط زیست گردد، زلزله است.

زمین لرزه

یکی از ترسناک‌ترین و مخرب‌ترین پدیده‌های طبیعت زمین لرزه و عواقب وحشتناک آن می‌باشد. کره زمین از صفحات زمینی تکتونیک عظیمی تشکیل شده است این صفحات به آرامی همگرا، در کنار هم و در واگرا حرکت می‌کنند. این حرکات گاهی اوقات تدریجی و در برخی مواقع این صفحات به همدیگر قفل شده و قادر به تخلیه انرژی مترکم نمی‌باشند. وقتی این انرژی مترکم به اندازه کافی زیاد شد، صفحات از یکدیگر جدا می‌شوند و اگر این روند در ناحیه پشت زمین روی دهد منجر به بروز تلفات زیاد و صدمات جانی و خسارات فراوان مالی خواهد شد. از عوامل دیگر موثر در زمین لرزه می‌توان به فعالیت آتشفشان اشاره نمود (ولدیگی، ۱۳۹۰: ۵۲).

تحلیل خطر زمین لرزه

تحلیل خطر زمین لرزه به تخمین کمی خطرات لرزش زمین در یک محل خاص مربوط می‌شود. هدف نهایی از تحلیل خطر زمین لرزه توسعه عناصری است که ممکن است برای تصمیم‌گیری عاقلانه در ایمنی زمین لرزه به کار رود. فرآیند تصمیم‌گیری باید عدم قطعیت‌های فرآیند زمین لرزه و ویژگی‌های جنبش زمین، عدم قطعیت‌های اثرهای زمین لرزه بر انسان و سازه، هزینه‌های ایمنی در مقابل زمین لرزه و خسارت‌های بالقوه و نیز هست از ریسک را با هم متحد کند (زارع، ۱۳۸۹: ۲۹۸).

اساس کاربری تخمین خطر زلزله آنالیز آماری داده‌های زمین لرزه است که منجر به تعیین میزان احتمال وقوع مجدد زمین لرزه‌ها با بزرگی‌های مختلف یا به عبارت دیگر ارائه فاصله زمانی (متوسط) اعمال شتاب‌های متفاوت می‌شود. تخمین خطر زمین لرزه برای

به‌دست آوردن احتمال تجاوز آن پارامتر از یک مقدار مشخص در یک دوره زمانی خاص با هم ترکیب می‌شوند. در تحلیل خطر زلزله معمولاً توزیع زمانی با مدل پواسون مدل‌سازی می‌شود. در مطالعه حاضر، مخاطرات لرزه‌ای از نوع تعیینی می‌باشد زیرا منطقه غرب تهران به‌عنوان یک منطقه در نظر گرفته شده است ولی گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه غرب تهران با روش ژئوتکنیک و تحت‌الارضی به طور دقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

پیشینه تحقیق

ریور^۳ (۱۹۳۴)، پژوهشی تحت عنوان چینه‌شناسی و زمین‌ساخت کوه بی‌شهربانو را انجام داد. در این تحقیق ستون چینه‌شناسی و رسوبات کواترنری جنوب تهران را در منطقه بی‌شهربانو را ترسیم کرده است.

چالکو^۴ (۱۹۷۴)، سلسله مطالعات لرزه‌زمین‌ساخت ایران، به‌ویژه شمال ایران مرکزی، شهر تهران را مورد بررسی قرار داد و تهران را از لحاظ لرزه زمین‌ساخت پهنه‌بندی کرد. در این مطالعات با ارایه نقشه‌های لرزه زمین‌ساختی، شهر تهران از لحاظ مخاطرات لرزه‌ای به چند بخش با مخاطرات خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم خطر پهنه‌بندی شده است.

آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) (۱۳۸۰)، و مرکز مطالعات زلزله و زیست‌محیطی تهران بزرگ (۱۳۸۰) در مطالعاتی مجزا ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعات بر اساس بررسی گسل‌های تهران، نوع رسوبات، چینه‌شناسی منطقه، نوع ساختمان‌ها و سایر عوامل تاثیرگذار، نقشه‌های مختلف از انواع پهنه‌بندی‌های لرزه زمین‌ساختی، ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی شهر تهران را ترسیم و ارایه کردند.

زارع (۱۳۸۳)، به تحلیل خطر زمین لرزه در چهارگوشه تهران، مخاطرات لرزه‌ای این شهر از دیدگاه تعیینی مورد مطالعه قرار داد و نقشه‌های لرزه زمین ساخت شهر تهران را ارایه کرد.

گاست و همکاران^۵ (۲۰۰۶)، با بررسی‌های زمین‌ساختی میزان کوتاه‌شدگی غرب البرز مرکزی در دوران سنوزئیک را اندازه‌گیری کردند. در این مطالعات با استفاده از مغناطیس‌هواپی و ژئوفیزیک میزان جابجایی‌های راندگی‌های البرز مورد بررسی و اندازه‌گیری شد. نظری و همکاران (۲۰۰۶)، در پژوهشی فعالیت‌های لرزه‌ای در بخش البرز مرکزی را بررسی کردند و در نهایت نقشه لرزه زمین ساخت البرز مرکزی را ارایه کردند.

عطایی و فاطمی‌عقدا (۱۳۹۰)، به بررسی مخاطرات لرزه‌ای مناطق

یک ناحیه و میزان احتمال اعمال شتاب معین در یک سازه بر اصول و فرض‌هایی بنا شده است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- شناخت زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی منطقه؛
- وجود تعداد کافی زمین لرزه به‌عنوان وقایع مستقل برای عملیات آماری؛
- معلوم بودن رابطه کاهش شدت و نسبت فاصله برای منطقه؛
- موجود بودن همبستگی کاهش شتاب نسبت به فاصله برای منطقه؛
- معلوم بودن توزیع شرکت با شتاب نسبت به راستای گسل‌ها (رستگار، ۱۳۹۸: ۸۳).

مخاطرات لرزه‌ای

مخاطره حد فاصل بین جوامع انسانی با سطح معینی از آسیب‌پذیری و یک مخاطره طبیعی شدید می‌باشد که ممکن است منشاء جوی، ژئوفیزیکی و یا بیولوژیکی داشته باشد و موجب ایجاد مشکلات عمده انسانی با خسارات مادی قابل توجهی به زیرساخت‌ها یا تلفات انسانی و یا بیماری گردد.

مخاطرات لرزه‌ای در شرایطی که زلزله مشخصی مدنظر باشد، به‌صورت تعیینی^۱ و در شرایطی که اندازه، زمان و مکان زلزله قطعی نباشد به‌صورت احتمالی^۲ بررسی می‌شود.

- در روش تعیینی میزان بزرگی تولید شده و فاصله گسیختگی از سایت به‌طور دقیق و قطعی مشخص می‌باشد و خطرات ناشی از یک زلزله مشخص مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این روش کلیه چشمه‌های لرزه‌خیز که قادر به تولید زلزله‌های مهم در سایت تعیین و مشخصات مربوط به هر کدام از آن‌ها مشخص می‌شوند. ضمناً پارامتر فاصله هر چشمه لرزه‌ای تا سایت، زلزله کنترل‌کننده و فاصله چشمه زلزله کنترل‌کننده تا سایت تعیین می‌شوند. این پارامترها مستقیماً از روابط کاهندگی به‌دست می‌آیند. معمولاً از حداکثر شتاب، سرعت و طیف پاسخ برای بیان خطر یک سایت استفاده می‌شود.

- در روش احتمالی حدود منطقه در نظر گرفته می‌شود. اولین گام، تشخیص چشمه‌های لرزه‌زا و تعیین مشخصات آن‌ها است. در گام بعدی لرزه‌خیزی یا توزیع زمانی بازگشت زلزله‌های مختلف تعیین می‌شوند. یک رابطه بازگشتی که نرخ متوسط وقوع زلزله‌های بزرگ‌تر از یک بزرگای مشخص را تعیین می‌کند، لازم است. ضمناً حرکت زمین تولید شده در سایت به کمک روابط کاهندگی و با استفاده از هر زلزله ممکن برای هر چشمه تعیین می‌شود. در نهایت، عدم قطعیت‌های موجود در بزرگا، فاصله و پارامتر حرکت زمین برای

3. Riviere
4. Tchalenko
5. Guest et al

1. Deterministic
2. Probabilistic

عدم امکان دسترسی محلی، سازمان‌های دولتی، امکان گمانه‌زنی در منطقه مورد مطالعه میسر نبوده و برای بررسی وضعیت ژئوتکنیکی منطقه، اطلاعات ژئوتکنیکی که برای احداث سازه‌های مهم شهری انجام شده‌اند مورد استفاده قرار گرفتند.

نمونه‌ها از دو جنبه تراکم و آزمون نفوذ استاندارد (SPT). مورد بررسی قرار گرفتند:
0 دانسیته

به منظور تعیین تراکم خاک از آزمایش تعیین تراکم برجا مطابق با استاندارد ASTM D 2167: 84 استفاده شد. روش انجام این آزمایش به این صورت است که در لایه مورد نظر حفره‌ای کروی شکل به قطر ۱۵ سانتیمتر ایجاد می‌شود و خاک‌های جایجا شده در ظرفی دارای حفاظ رطوبت ریخته شده و وزن آن با ترازو اندازه‌گیری می‌شود. حجم حفره حاصله با ریختن ماسه استاندارد به داخل آن تعیین شده و توسط این داده‌ها و با استفاده از روابط استاندارد، دانسیته خاک محاسبه می‌شود.

0 آزمون نفوذ استاندارد (SPT)

با استفاده از نتایج این آزمون مقدار اصطکاک داخلی (t) در خاک‌های دانه‌ای و میزان سفتی در خاک‌های چسبیده برآورد شد. در این آزمون که معمولاً در داخل گمانه‌ها انجام می‌شود، نمونه‌گیر دوکفه‌ای توسط ضربات چکشی ۱۴۰ پوندی که به طور آزاد از ارتفاع ۳۰ اینچی فرود می‌آید، به داخل خاک فرو می‌رود. تعداد ضربات لازم برای ۱۵ سانتیمتر (۶ اینچ) نفوذ نمونه‌گیر در خاک ثبت می‌شود. معمولاً تعداد ضربه‌های لازم برای دومین و سومین ۱۵ سانتیمتر پیشروی به‌عنوان مقاومت نفوذ استاندارد یا عدد N در نظر گرفته می‌شود که در واقع ضربات لازم برای ۳۰ سانتیمتر نفوذ نمونه‌گیر به داخل خاک مورد نظر است. در نظر نگرفتن ضربات مربوط به ۱۵ سانتیمتر اول به این دلیل است که همواره امکان وجود تراشه‌هایی در ته چاه و برهم خوردگی خاک در خلال شستشو وجود دارد.

بررسی‌های آزمایشگاهی

سایر خصوصیات مکانیکی نمونه‌های حاصل از گمانه‌های اکتشافی، پس از تعیین تراکم و نفوذ استاندارد (ASTM)، در محل، مطابق جدول ۱، تعیین شدند.

۲۲ گانه تهران بر مبنای تحلیل تعیینی خطر زلزله با قرار دادن چشمه‌های لرزه‌ای شمال تهران مشاء ری و طالقان براساس روابط بزرگنمایی کمبل بزرگ‌نیا در مناطق مختلف شتاب زلزله را محاسبه و اثرات این شتاب بر مناطق مختلف تهران را مورد بررسی قرار دادند.

اداره کل آب‌های زیرزمینی وزارت نیرو ضخامت آبرفتی آینده گستره تهران را به روش سنجش مقاومت الکتریکی زمین حدود ۳۰۰ تا ۳۵۰ متر تعیین کرده است که شامل آبرفت جوان شامل بخش‌های بالایی سازند هزار دره، سازند ناهمگن شمال تهران، سازند آبرفتی تهران و آبرفت‌های کنونی است. ریزپهنه‌بندی و تفکیک نوع آبرفت در گذشته به‌طور محدود در تهران انجام شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به پروژه مشترک آنانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) و شهرداری تهران و یا ریزپهنه‌بندی براساس داده‌های یک پروژه میکروترومور در جنوب تهران و شمال تهران که به‌وسیله پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله انجام شده اشاره کرد (حسن احمدی، ۱۳۹۵: ۴۸).

روش انجام پژوهش

در اولین مرحله عکس‌های هوایی ۱/۵۰۰۰۰، سازمان جغرافیایی ارتش، شکستگی‌های مهم و غسل‌های موثر منطقه مورد شناسایی و مطالعه قرار گرفتند، سپس با بازدید و برداشت‌های میدانی اقدام به مستندسازی صحرائی شد.

در مرحله بعد با استفاده از دیاگرام‌های رسوبی گمانه‌های حفاری شده، داده‌های ژئوتکنیکی موجود در مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران (مشمول بر ۶۰۰ گمانه در غالب ۱۵۰ پروژه) و بازدیدهای میدانی، چگونگی نهشتگی رسوبات در جایگاه زمین‌شناسی مورد بررسی گرفت و نقشه آبرفتی منطقه تهیه شد.

در این تحقیق از مدول‌های دینامیکی (آبرفت) و نیز سایر شرایط زمین‌شناسی از جمله میزان آب‌های سطحی، ضریب نفوذپذیری، میزان روباره، وزن مخصوص، آزمایش نفوذ استاندارد و سایر اطلاعات در گستره مورد مطالعه برای تخمین اولیه ضریب بزرگنمایی حرکت زمین در صورت رویداد زمین لرزه استفاده شد. به‌دلیل محدودیت‌های موجود از جمله هزینه‌های این نوع مطالعات (که عموماً زیاد است)،

جدول ۱. آزمایش‌های مکانیکی و فیزیکی خاک

ردیف	عنوان آزمایش	هدف آزمایش	استاندارد ASTM
۱	دانه‌بندی و هیدرومتری	تعیین اندازه ذرات خاک	D422-87 D422-63
۲	حدود آتربرگ	خواص خمیری خاک	D4318-87
۳	آزمایش تحکیم	تعیین پارامترهای نشست‌پذیری خاک	D2435-90
۴	آزمایش تک محوری	تعیین سختی و مدول الاستیسیته خاک	D2166-87
۵	برش مستقیم	تعیین زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک	D3080-90
۶	آزمایش سه محوری		D4767-88

ساختگاهی است.

پارامترهای دینامیکی خاک منطقه مورد مطالعه (VS با استفاده از موج برشی)

محققین در نقاط مختلف برای تعیین سرعت موج برشی خاک روابط تجربی گوناگونی را پیشنهاد کردند. ایشیهارا (۲۰۱۷)، در مطالعات خود در کشورهای حوضه بالکان، ارتباط بین عدد SPT و VS را ارائه کردند (جدول ۳ الف و ۳ ب).

جدول ۳. ارتباط بین سرعت موج برشی (VS) و عدد SPT.

الف) خاک‌های غیرچسبنده

	Loose	Meduim to Dense	Densc	Very Dense
SPT (N مقدار)	<۸	۸-۳۰	۳۰-۵۰	>۵۰
VS (m/sec)	<۳۰۰	۳۰۰-۶۰۰	۶۰۰-۸۰۰	۸۰۰-۱۰۰۰

ب) خاک‌های چسبنده

	Soft to Meduim	Stiff	Very Stiff	Hard
SPT (N مقدار)	<۸	۸-۱۶	۱۶-۳۲	>۳۲
VS (m/sec)	<۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۵۰۰	۵۰۰-۷۵۰

خود در کل شهر تهران، رابطه تجربی (۲) را پیشنهاد کرده است:

$$V_s = 161 N^{0.277} \quad (2)$$

در این معادلات N، عدد SPT و VS، برحسب متر بر ثانیه است. در رابطه جایگاه عدد SPT که برای انواع خاک‌های تهران پیشنهاد شده است، بالاتر از ۲۰۰ لحاظ نمی‌شود.

جعفری (۱۳۸۱) معادلات تجربی مربوط به خاک تهران را به دلیل نزدیکی معادلات تجربی خود با جدول ایشیهارا و همکاران (۱۹۸۲) برای منطقه بالکان، طبق جدول ۴، اصلاح کرده است.

سرعت موج برشی (VS-۱۵)

در این مطالعه گسترده‌ترین روش طبقه‌بندی خاک، با روش سرعت موج برشی متوسط در لایه‌های بالایی یا VS-۱۵ انجام شده است. روش VS-۱۵ حاصل از تئوری انتشار موج الاستیک است که پیشنهاد می‌کند دامنه جنبش نیرومند زمین متأثر از دانسیته و سرعت موج برشی در سطح است. دانسیته با عمق نسبتاً کم تغییر می‌کند و سرعت موج برشی یک انتخاب منطقی برای ارائه شرایط

باتوجه به این که معادلات ارائه شده در جدول‌های ۳ الف و ۳ ب، برای مناطق ویژه‌ای صادق است، به معادلاتی که توسط محققین دیگر برای شهر تهران ارائه شده اشاره می‌شود.

جعفری و همکاران (۱۳۷۶)، در مطالعات خود در جنوب غرب تهران پس از بررسی اعداد SPT به دست آمده از لوگ گمانه‌های موجود و انجام آزمایش ژئوفیزیک سطحی، رابطه تجربی (۱) را برای منطقه فوق پیشنهاد کرده است:

$$V_s = 22 N^{0.85} \quad (10 < N < 60) \quad (1)$$

آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایگاه، ۱۳۸۰) در بررسی‌های

جدول ۴. طبقه‌بندی خاک‌های تهران براساس سرعت موج برشی

الف) خاک‌های غیرچسبنده

رده خاک	C1	C2	C3	C4	C5
حدود سرعت موج برشی (Vs)	<۱۲۰	۱۲۰-۲۵۰	۲۵۰-۴۰۰	۴۰۰-۶۰۰	>۶۰۰
حدود SPT	<۸	۸-۱۶	۱۶-۳۰	۳۰-۵۰	>۵۰

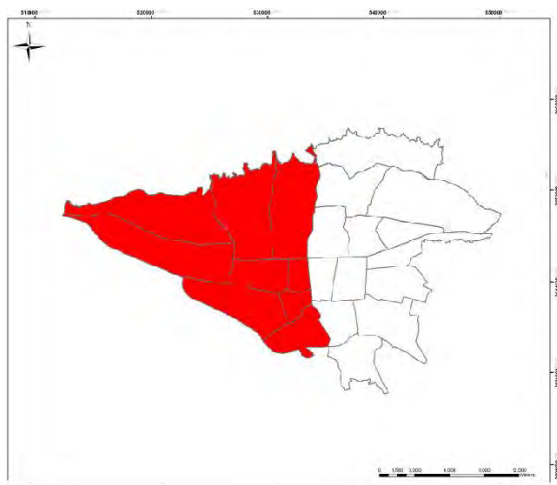
ب) خاک‌های غیرچسبنده

رده خاک	N1	N2	N3	N4
حدود سرعت موج برشی (VS)	>۲۰۰	۲۰۰-۴۰۰	۴۰۰-۷۰۰	>۷۰۰
حدود SPT	<۱۰	۱۰-۳۰	۳۰-۵۰	>۵۰

جعفری (به ترتیب ۲۲ و ۲۷) دارد. به این ترتیب می‌توان SPT خاک‌های منطقه مورد مطالعه را عدد ۲۵ در نظر گرفت که معادل سرعت موج برشی ۳۷۵ متر بر ثانیه است و مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ مرز بین خاک نوع دو و سه تعیین شده است.

همان‌طور در جدول ۴ مشاهده می‌شود، سرعت موج برشی برابر ۳۷۵ متر بر ثانیه است (مرز بین خاک نوع دو و سه) که متناظر با عدد SPT در بازه ۱۰-۳۰ و نزدیک به ۳۰ است که همخوانی خوبی با عدد SPT متناظر با ۳۷۵ در روابط جایگاه و

39.60° است که وسعتی حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع دارد (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه در تقسیمات شهری

یافته‌ها

مجموعه ساختاری در محدوده مورد مطالعه

اگر چه محققین مختلف گسل‌های اطراف تهران را مورد بررسی دقیق قرار داده‌اند اما با برداشت‌های صحرائی در منطقه، نسبت به شناسایی موقعیت دقیق گسل‌ها همراه با گردآوری و بررسی مجدد داده‌های موجود شامل عکس‌های هوایی، نقشه‌ها، بررسی ترانشه‌ها و گود برداری‌های موجود در آبرفت‌های تهران اقدام شده است.

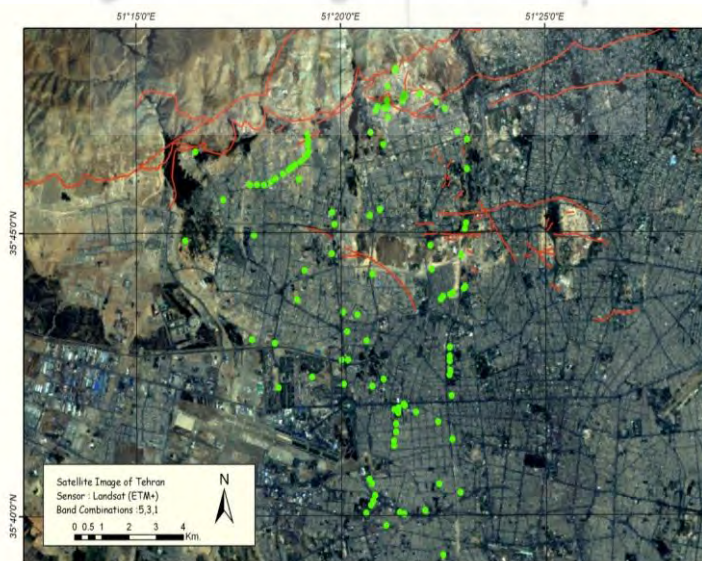
جدول ۲ و شکل ۲، شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه مورد مطالعه و موقعیت این گسل‌ها بر روی تصویر ماهواره‌ای نمایش داده است.

جنس خاک شمال منطقه مورد بررسی درشت‌دانه بوده و هر چه به سمت پایین دست پیش می‌رویم از اندازه ذرات کاسته می‌شود. در قسمت‌های شمالی تراکم خاک بالاتر از $1/9$ است و به سمت جنوب از میزان آن کاسته می‌شود به طوری که در قسمت‌های جنوب منطقه تراکم خاک به $1/6$ می‌رسد.

از قسمت‌های شمالی به سمت جنوب از عدد ضربه نفوذ استاندارد کاسته می‌شود. به طوری که در قسمت‌های جنوبی به پایین‌تر از عدد ۲۰ می‌رسد. همچنین از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه از زاویه اصطکاک کاسته می‌شود. لایه‌های زمین از حدود خیابان آزادی به سمت شمال، لایه‌های زمین تماماً شامل لایه‌های متراکم شن و ماسه با ضخامتی بیش از ۳۰ متر است که طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ از نوع خاک درجه دو است. از حدود خیابان دامپزشکی به سمت جنوب، لایه‌های زمین تناوبی از لایه‌های شن و ماسه با تراکم‌های متوسط تا زیاد با ذرات بین لایه‌ای رسی و سیلتی است که این وضعیت تا حدود خیابان قزوین مشاهده می‌شود. از خیابان قزوین به سمت جنوب لایه‌های رسی با میان لایه‌های شن و ماسه با تراکم متوسط وجود دارد که طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ از نوع خاک درجه سه است.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه قسمتی از شهر تهران شامل مناطق دو، پنج، نه، ده، هفده، هجده، نوزده، بیست و یک و بیست و دو است که از شمال به حریم شهرداری مناطق دو و پنج، از جنوب به شهرداری مناطق هجده و نوزده، از غرب به شهرداری منطقه بیست و دو و از شرق به بزرگراه شهید چمران محدود شده و شامل طول‌های جغرافیایی $53^{\circ}01'$ و $53^{\circ}98'$ و عرض‌های جغرافیایی $39^{\circ}55'$ و



شکل ۲. موقعیت گسل‌های محدوده شهر تهران بر روی تصویر ماهواره‌ای

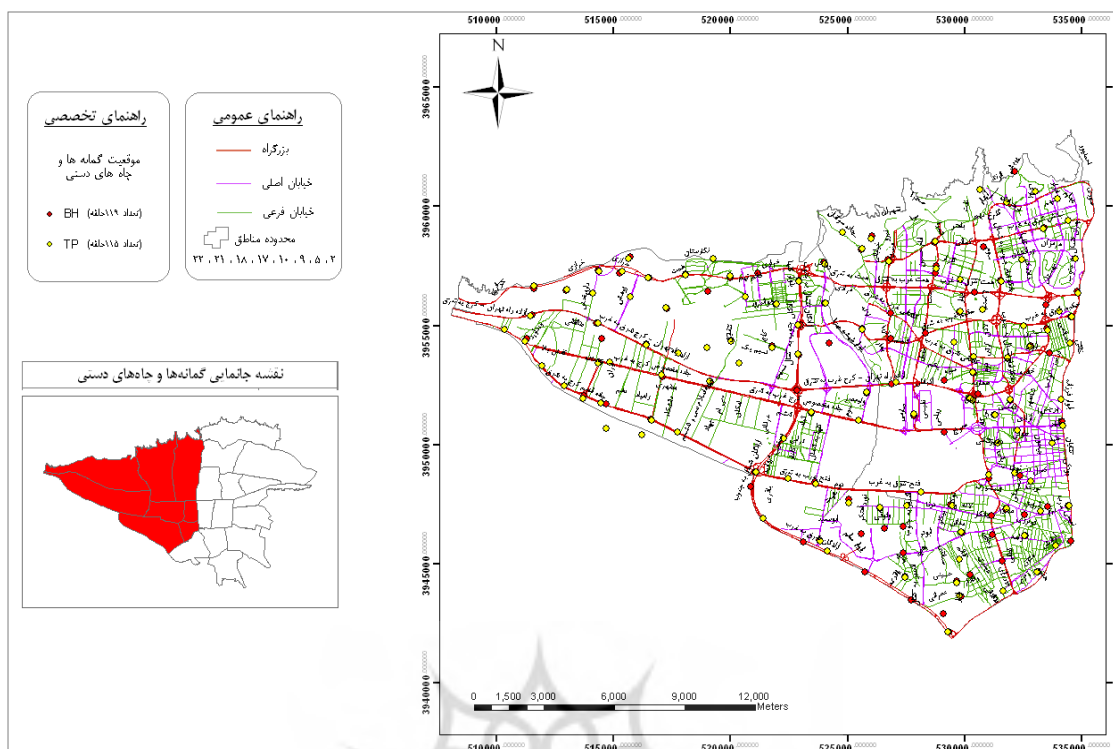
جدول ۲. شکستگی‌ها و گسل‌های محدوده منطقه مورد مطالعه

ردیف	نوع گسل	محل	موقعیت GPS	شیب و امتداد
۱	راندگی فشاری	باغ فیض کوچه ۵ کوه نور در ترانشه	X=53,01,46 Y=39,55,696	N9.E 41SW
۲	کشش	باغ فیض باختر دره فرحزاد کوچه ۶	X=53,02,75 Y=39,55,434	خاوری - باختری شیب ۵۰ درجه به سمت شمال
۳	فشاری	۲۰ متری خاور آبادی فرحزاد	X=53,01,88 Y=39,60,714	خاوری - باختری شیب ۵۰ تا ۷۰ درجه
۴	کشش	محوطه ساختمان وزارت راه	X=53,27,93 Y=39,60,997	N50 E 64SE
۵	راندگی	شمال باختری بیمارستان سعادت‌آباد	X=53,30,33 Y=39,61,179	N107 E 33N
۶	راندگی	شمال باختری سعادت‌آباد	X=53,26,17 Y=39,61,145	N60 E 77SE
۷	راست‌لغز	شمال باختری شهرک غرب	X=53,34,93 Y=39,58,890	N5 E 85NE
۸	کشش	شمال شهرک غرب	X=53,37,40 Y=39,58,762	N1700 E 80NE
۹	راست‌لغز	شهرک غرب	X=53,40,35 Y=39,58,446	N380 E 74NE
۱۰	دگرشیبی	خیابان فرحزادی شهرک غرب	X=53,27,09 Y=39,57,316	شرقی - غربی، شیب ۳۰ به سمت جنوب
۱۱	دگرشیبی	داخل رمپ یادگار امام به اتوبان شهید همت	X=53,16,02 Y=39,56,214	شمالی - جنوبی شیب حدود ۲۵ درجه به سمت غرب.
۱۲	فشاری	داخل رمپ یادگار امام به اتوبان شهید همت	X=53,16,82 Y=39,56,218	شمالی - جنوبی شیب حدود ۳۰ درجه به سمت غرب
۱۳	راندگی	رمپ یادگار امام به اتوبان همت	X=53,15,04 Y=39,56,077	راستای شرقی - غربی، شیب ۱۰ درجه به سمت شمال
۱۴	راندگی	شمال روستای مرادآباد	X=53,98,89 Y=39,60,337	راستای شمالی و جنوبی شیب به سمت غرب
۱۵	راندگی	شمال غرب روستای مرادآباد	X=53,93,95 Y=39,60,042	راستای شرقی - غربی، شیب ۳۰ درجه به سمت شمال
۱۶	نرمال	دره وسک	X=53,74,45 Y=39,60,153	N55W50W
۱۷	فشاری	داخل شهرک هما	X=53,04,66 Y=39,55,115	N50W شیب ۷۰ درجه به سمت شمال شرق
۱۸	دگرشیبی	شرق رودخانه فرحزاد	X=53,09,80 Y=39,55,418	شرقی - غربی، شیب حدود ۹۰ درجه
۱۹	کشش	شرق رودخانه فرحزاد	X=53,08,73 Y=39,55,408	N90E شیب به سمت جنوب
۲۰	فشاری	داخل شهرک هما	X=53,04,94 Y=39,55,705	شیب به سمت شمال N90E
۲۱	دگرشیبی	غرب رودخانه فرحزاد	X=53,04,85 Y=39,55,425	شرقی - غربی، شیب حدود ۲۵ درجه به سمت شمال
۲۲	دگرشیبی	بین رودخانه فرحزاد و اشرفی اصفهانی	X=53,04,85 Y=39,55,45	شرق - غرب شیب به سمت شمال
۲۳	فشاری	اشرفی اصفهانی - بیگدلی	X=53,04,03 Y=39,55,653	شمالی و جنوبی، شیب ۳۵ درجه به سمت شرق

نوع دستی و ماشینی بوده که عمق آن‌ها از ۱۰ تا ۶۴ متر متغیر است؛ از ۲۱۰ گمانه ماشینی، ۶۰ گمانه تا ۲۰ متر، ۱۰۰ گمانه ۲۰ تا ۴۰ متر، ۵۰ گمانه بیش‌تر از ۴۰ متر و از ۳۸۰ گمانه دستی، ۲۲۰ گمانه تا ۲۰ متر، ۱۲۰ گمانه ۲۰ تا ۳۰ متر و ۴۰ گمانه بیش‌تر از ۳۰ متر است. موقیت گمانه‌ها در شکل ۳، نشان داده شده است.

اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیکی

اطلاعات ژئوتکنیکی این تحقیق از گمانه‌های حفر شده در مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران جمع‌آوری شده است. تعداد لوگ گمانه‌های بررسی شده، حدود ۶۰۰ عدد می‌باشد. تمامی گمانه‌های حفر شده از



شکل ۳. پراکندگی نقاط گمانه‌های اکتشافی

بخش درشت‌دانه در شمال و ریزدانه در جنوب منطقه قرار داشته و انتقالی در حد واسط دو بخش درشت‌دانه و ریزدانه، به‌صورت نواری با پهنایی حدود سه کیلومتر قرار گرفته است.

آبرفت‌های درشت‌دانه

همان‌گونه که در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود، مرز جنوبی این بخش در قسمت جنوب خیابان آزادی (حدود ۵۰۰ متر پایین‌تر از خیابان آزادی) واقع است و شامل بخش بزرگی از واحدهای آبرفتی منطقه است. نهشته‌های آبرفتی این بخش، تماما شنی و ماسه‌ای بوده و اجزای قلوه‌سنگی در آن‌ها به فراوانی دیده می‌شود. در این منطقه از سمت شمال به جنوب، از قطر دانه‌های تشکیل دهنده آبرفت کاسته می‌شود. به‌عبارت دیگر از میزان قلوه سنگ‌ها و شن‌ها کاسته شده و بر میزان ماسه و سیلت و رس افزوده می‌شود. از سمت غرب به شرق نیز تا حدودی از قطر ذرات آبرفت کاسته می‌شود. اجزای قلوه سنگی عمدتاً از توف‌های سبز ارتفاعات شمالی تهران تشکیل شده‌اند که کم و بیش گردشگری در آن‌ها دیده می‌شود.

براساس بررسی آبرفت‌ها در گودبرداری‌ها و ترانشه‌های موجود، شیب لایه‌بندی آن‌ها در قسمت‌های شمالی به اندازه ۱۰ تا حدود ۷۰ درجه است که در برخی نواحی دچار چین‌خوردگی و بالاآمدگی شده و سیمانی شده و دارای لایه‌بندی و میان‌لایه ریزدانه هستند. اما در قسمت‌های جنوبی لایه‌بندی آبرفت‌ها افقی است. گسترش

همان‌طور که در شکل ۳، ملاحظه می‌شود، توزیع گمانه‌های حفر شده در منطقه یکنواخت نبوده و تقریباً در قسمت جنوبی منطقه به‌دلیل پروژه‌های خطی بیش‌تر است. به منظور دقت بیش‌تر در بیش‌تر پروژه‌هایی که در محل‌های درشت‌دانه واقع شده است به‌دلیل خرد شدن مصالح بر اثر مته حفاری و به هم خوردن بافت و اندازه دانه‌ها، از نتایج آزمایش تراکم و دانه‌بندی حاصل از گمانه‌های دستی استفاده شده است.

ویژگی‌های ژئوتکنیکی آبرفت‌های منطقه

در قسمت‌های شمالی منطقه مورد مطالعه، سازند هزار دره و آبرفت ناهمگن شمال تهران برونزد دارند که این بیرون‌زدگی ناشی از چین‌خوردگی، بالاآمدگی و نهایتاً گسلش است. سازند آبرفتی تهران بر روی سازند هزاردره و Bn قرار گرفته و تقریباً قسمت بیش‌تر منطقه توسط آن سازند پوشیده شده است.

قسمت‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه به‌وسیله سازند D_1 پوشیده شده است و نهشته‌های آن بیش‌تر تناوبی از شن، ماسه، سیلت و رس است. سکانس بالایی نیز نهشته‌های D_2 هستند که نتیجه فعالیت رودخانه‌های فعلی هستند.

براساس بررسی‌های زیر سطحی و مطالعات لوگ گمانه‌ها و چاه‌ها، در منطقه مورد مطالعه سه بخش اصلی آبرفت را می‌توان در نظر گرفت که عبارت است از بخش درشت‌دانه، ریزدانه و انتقالی (شکل‌های ۴ و ۵).

ولی میزان لایه‌هایی که از نوع ماسه‌ای هستند بیش از بقیه است. میزان تراکم لایه‌های این بخش در حد متوسط است، به طوری که تا عمق ۲۵ متری، مقادیر SPT عموماً بین ۱۰ تا ۵۰ است. گمانه ۴۰ متری واقع در واحد شبکه‌ای، نشان می‌دهد که در اعماق بیش از ۳۰ متر، عدد SPT بالاتر از ۵۰ است. آزمایشات حدود پایداری نمونه‌هایی از این بخش، نشان می‌دهد که حد روانی آن‌ها عموماً کم‌تر از ۳۰ درصد بوده و اندیس خمیری کم‌تری دارند.

به دلیل زیاد بودن مصالح ریزدانه، نفوذپذیری آبرفت‌ها در بخش انتقالی نسبت به بخش درشت دانه، به شدت کاهش یافته است. در قسمت شرقی این بخش به دلیل کاهش سرعت حرکت آب‌های زیرزمینی و تزریق بیش‌تر پس آب شهری، سطح آب بالا آمده و عمق آن به کم‌تر از ۱۸ متر نیز می‌رسد.

آبرفت‌های ریزدانه

این بخش، پایین‌ترین بخش منطقه مطالعاتی است و از حدود خیابان قزوین به سمت جنوب را شامل می‌شود. در بخش مزبور، لایه‌های آبرفتی عمدتاً از رس و لای با مقادیری از ماسه تشکیل شده است که به صورت افقی قرار گرفته‌اند. لایه‌های آبرفت این بخش به رنگ‌های مختلفی از جمله نخودی، آجری، خاکستری، سیاه و سبز رنگ دیده می‌شوند که هر کدام گویای شرایط رسوبگذاری آن‌ها است. لایه‌های سیاه و سبز رنگ در محیط‌های باتالاقی با شرایط احیا تشکیل یافته و لایه‌های قرمز و آجری رنگ نیز در محیط‌های خشک با شرایط اکسیدان رسوب کرده‌اند.

در این بخش از سمت شمال به جنوب تقریباً از میزان ماسه لایه‌ها کاسته شده و بر میزان رس و لای آن افزوده می‌شود، به طوری که در ردیف‌های شمالی کم‌وبیش لایه‌های ماسه‌ای ولی در ردیف‌های جنوبی‌تر، نهشته‌ها غالباً از رس‌های لای‌دار تشکیل شده‌اند.

بر طبق طبقه‌بندی یونیفاید، نمونه‌های مورد آزمایش این بخش از نوع SC, SM, ML, CL هستند (البته گمانه ۵۰ متری موجود در این خاک از نوع CL و SC است) که حد روانی آن‌ها عموماً کم‌تر از ۵۰ درصد و اندیس خمیری آن‌ها کم‌تر از ۲۰ درصد است. در بخش ریزدانه از غرب به شرق، به مقدار لایه‌های ریزدانه و ضخامت کل آن‌ها افزوده می‌شود. تراکم آبرفت این قسمت متوسط است، تا عمق ۳۰ متری عدد SPT کم‌تر از ۳۰ است و در عمق ۴۰ متری به حدود ۴۰ و در عمق ۵۰ متری به حدود بیش از ۵۰ می‌رسد.

جانبی لایه‌ها زیاد نبوده و بیش‌تر به صورت عدسی‌های طویل و وسیع رسوبی می‌باشند. لایه‌های رسوبی با ضخامت‌های متفاوت از حدود ۲۰ سانتی‌متر تا سه متر و به طور متناوب به رنگ‌های قرمز و خاکستری در منطقه مشاهده می‌شوند.

رنگ لایه‌ها نشان دهنده شرایط محیط تشکیل آن‌ها است. در مواقعی که رسوب‌گذاری با آهنگ کند صورت گرفته است هوازدگی موجب تشکیل خاک و لاتریتی شدن موجب قرمز رنگ شدن آبرفت‌ها شده است.

بر طبق طبقه‌بندی یونیفاید، آبرفت‌های این بخش عمدتاً در گروه‌های SW, SC, SM, GC, GM, GP, GW طبقه‌بندی می‌شوند. آبرفت‌ها در این منطقه، اکثراً از نوع گراولی و قلوه‌سنگی و در ردیف‌های پایین‌تر از نوع گراولی و ماسه‌ای هستند. در این بخش آبرفت‌ها از تراکم بالایی برخوردارند، به طوری که تقریباً در تمام گمانه‌های موجود از عمق ۱۰ متر به پایین، عدد SPT بیش از ۵۰ به دست آمده است و لایه‌های سطحی‌تر نیز دارای تراکم نسبتاً بالایی بوده و عدد SPT کم‌تر از ۴۵ برای آن‌ها دیده نمی‌شود. همین تراکم بالا سبب می‌شود که در این نواحی دیواره‌های قائم گودبرداری‌ها پایدار بمانند.

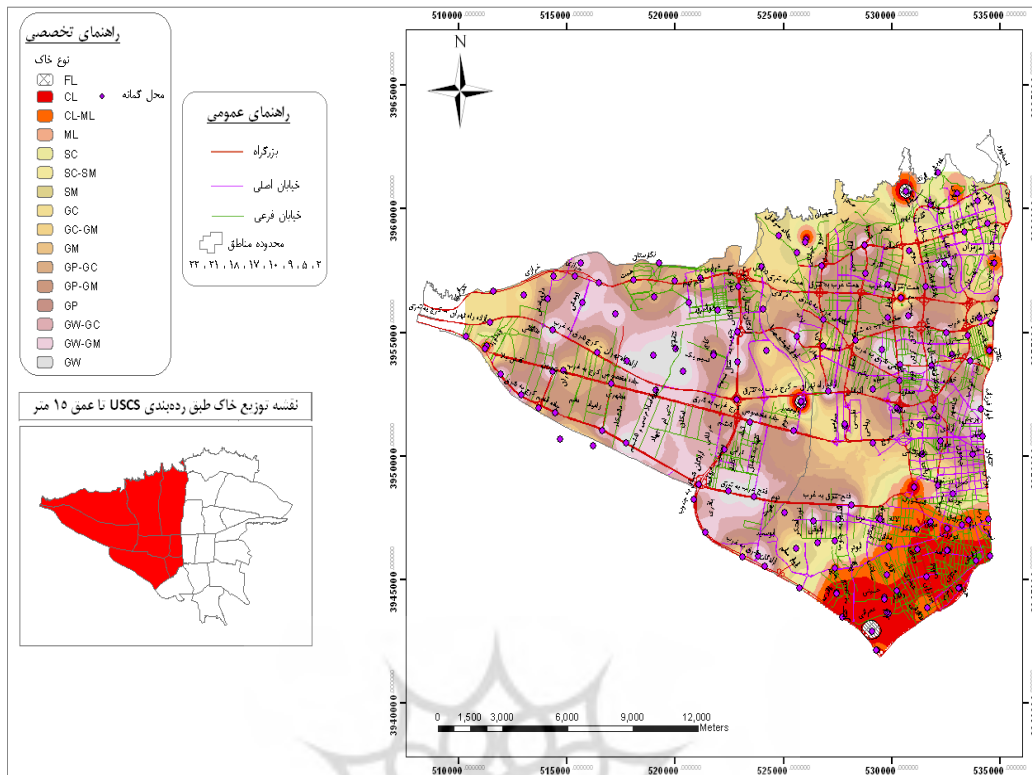
آبرفت‌های انتقالی

این بخش مابین بخش درشت‌دانه و بخش ریزدانه در جنوب قرار گرفته و به صورت نوار و با پهنای تقریبی سه کیلومتر از غرب تا شرق منطقه کشیده شده است. مرز غربی بخش انتقالی از شمال به حدود خیابان دامپزشکی و از جنوب به حدود خیابان آذری محدود می‌شود. مرز شرقی این بخش در شمال به حدود خیابان امام خمینی می‌رسد و در جنوب به حدود میدان حق شناس محدود می‌شود.

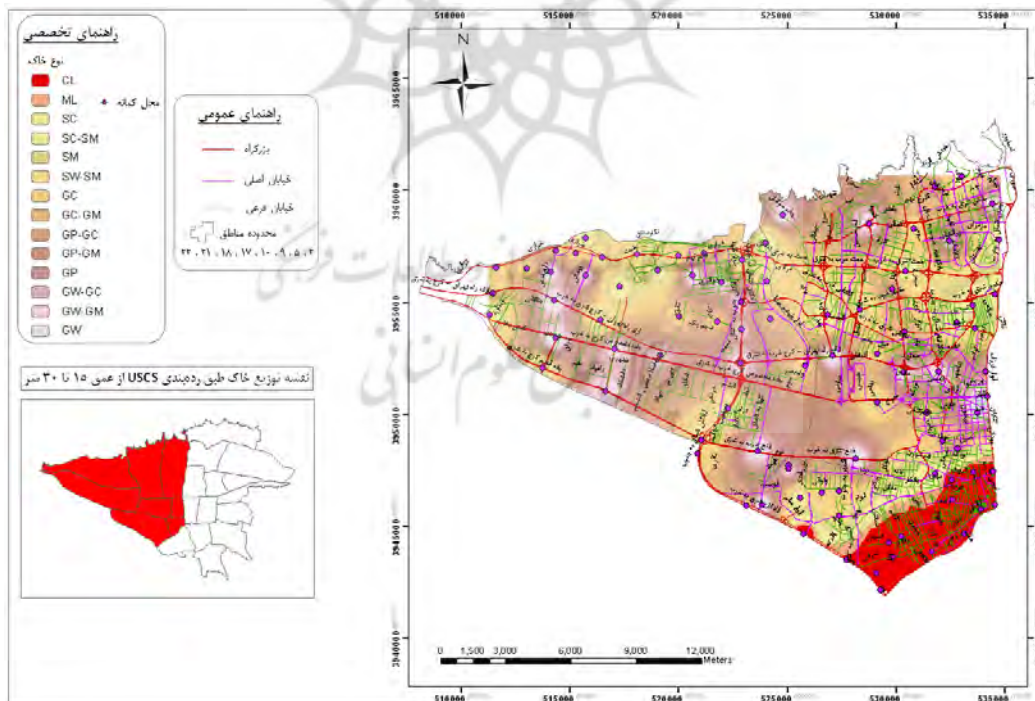
در این بخش نهشته‌های آبرفتی تناوبی از لایه‌های ریزدانه و درشت‌دانه هستند که به صورت افقی قرار دارند. از بخش شمال به سمت جنوب از میزان لایه‌های درشت‌دانه یا اجزای درشت‌دانه کاسته شده و بر میزان لایه‌ها یا قسمت‌های ریزدانه افزوده می‌شود. لایه‌های درشت‌دانه عمدتاً از ماسه تشکیل شده‌اند که دارای مقادیری شن و رس نیز می‌باشند و لایه‌های ریزدانه از لای رس با مقادیری ماسه تشکیل شده‌اند.

در این بخش لایه‌های آبرفتی بیش‌تر به صورت عدسی‌هایی با گسترش کم و زیاد دیده می‌شوند. بنابراین در مسافت‌های حتی اندک، تغییر نوع و ضخامت لایه‌ها دور از انتظار نیست.

در بخش انتقالی، انواع خاک‌ها از گراول تا رس دیده می‌شود.



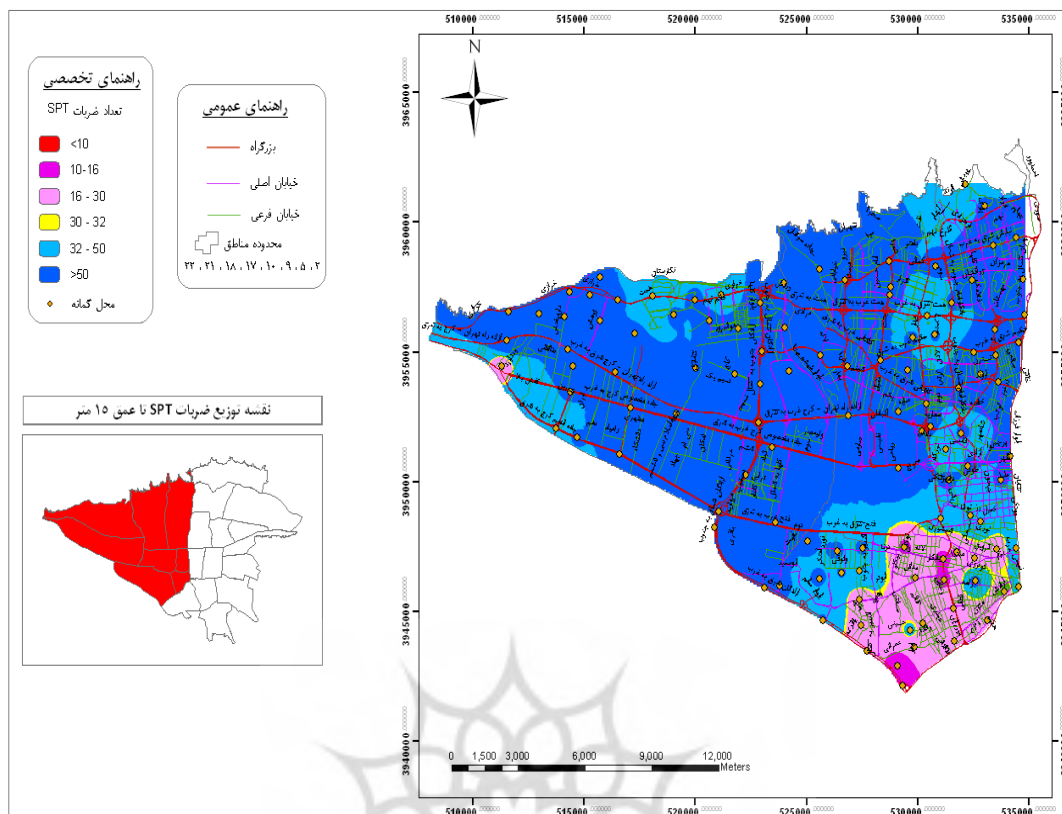
شکل ۴. نقشه منطقه‌بندی لیتولوژی منطقه مورد مطالعه تا عمق ۱۵ متر



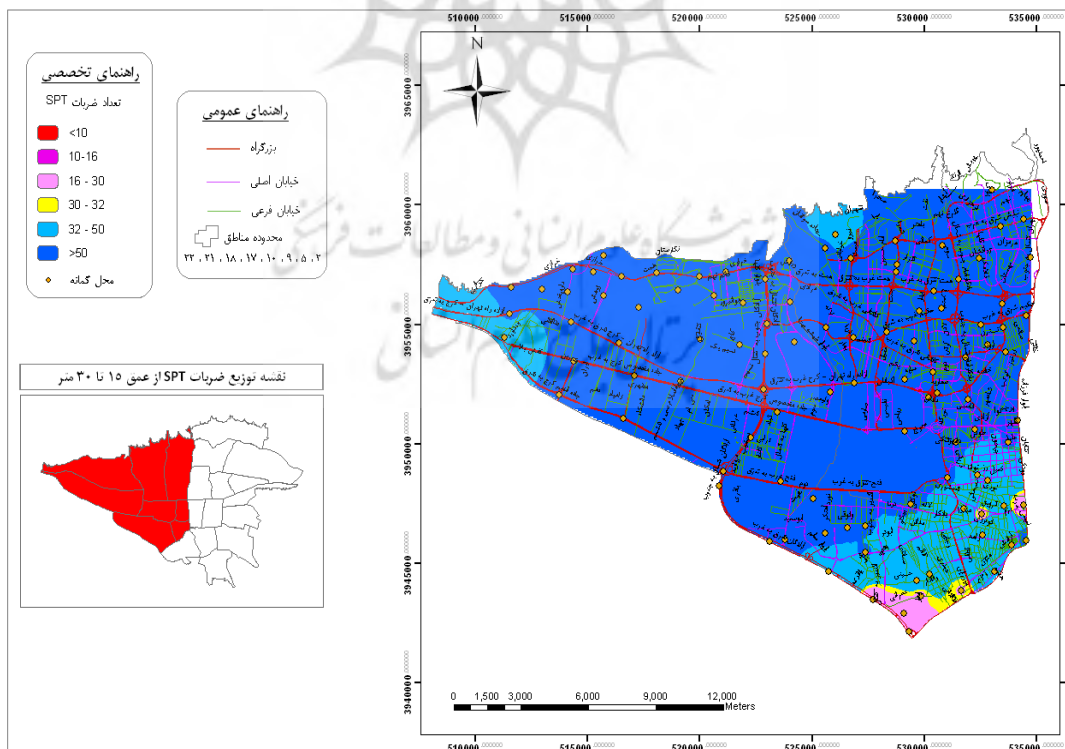
شکل ۵. نقشه منطقه‌بندی لیتولوژی منطقه مورد مطالعه از عمق ۱۵ تا ۳۰ متر

هستند. خواص مکانیکی و فیزیکی آبرفت منطقه مورد مطالعه از لوگ گمانه‌ها استخراج و در محیط GIS به وسیله شبکه‌بندی ارائه شدند.

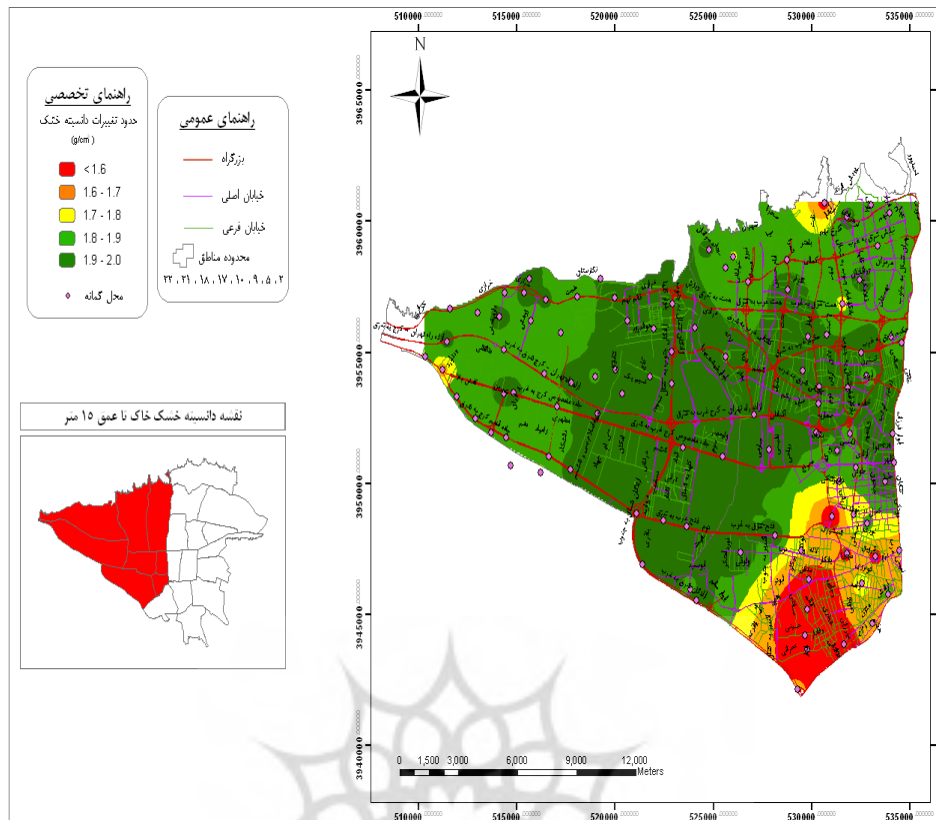
نتایج آزمایش نفوذ استاندارد نتایج آزمایش نفوذ استاندارد در شکل‌های ۶ تا ۹، ارائه شده است. در بیش تر گمانه‌های بالاتر از ۳۰ متر، رسوبات غالباً درشت دانه



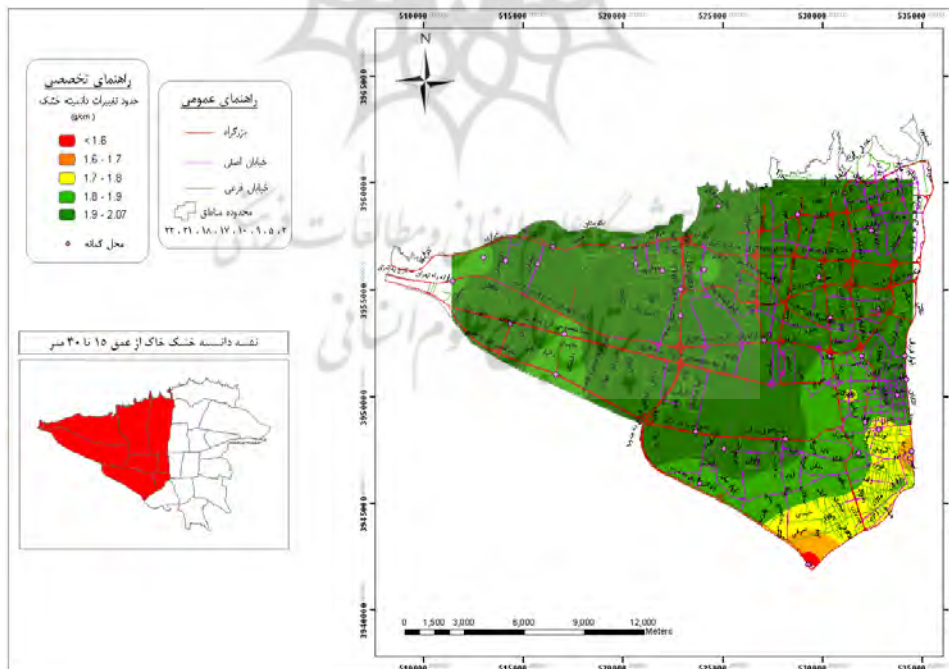
شکل ۶. نتایج آزمایش نفوذ استاندارد که از ۵۰ تا ۱۵ متغیر است (تا ۱۵ متر)



شکل ۷. نتایج آزمایش نفوذ استاندارد نشان می‌دهد که از ۵۰ تا ۱۵ متغیر است (تا ۳۰ متر)



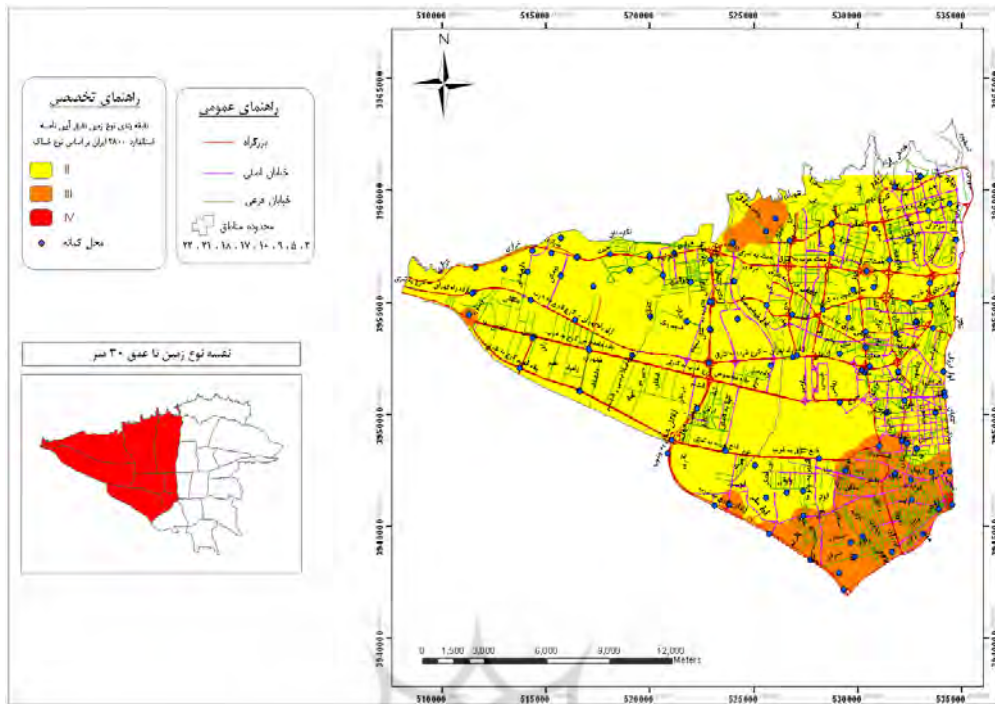
شکل ۸. نتایج تراکم خاک که از $1/19 \text{ g/cm}^3$ تا بزرگتر از 2 g/cm^3 متغیر است (تا ۱۵ متر).



شکل ۹. نتایج تراکم خاک که از $1/19 \text{ g/cm}^3$ تا بزرگتر از 2 g/cm^3 متغیر است (۱۵ تا ۳۰ متر)

برابر ۳۷۵ و تراکم و ضخامت لایه‌های خاک) است. نقشه و حدود و مرز خاک نوع دو و سه در شکل ۱۰، ارایه می‌شود.

نقشه‌های پیشنهادی محدوده مورد مطالعه از نتایج آزمایش SPT، تراکم، توصیف صحرایی، زاویه اصطکاک خاک، بازدهی محلی و نیز دو تعریف بیان شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ (سرعت موج برشی



شکل ۱۰. نقشه نوع زمین با توجه به آیین‌نامه ۲۸۰۰

اثر تشدید موج (اثر ساختگاهی)

۱۰ درصد در ۵۰ سال، معرفی شده است و مبنای مطالعات ما نیز همان مقدار $g/۰.۳۵$ است.

گستره مورد مطالعه شامل سه تپ اصلی متفاوت است. این سه تپ مختلف تاثیر متفاوتی در تشدید امواج لرزه‌ای خواهد داشت: در شمال منطقه مورد بررسی به دلیل بالا بودن نسبی سرعت موج برشی و درشت‌دانه بودن آبرفت‌ها همراه با سیمانی شدن، در بعضی موارد میزان تشدید موج لرزه‌ای در بستر پی نواحی جنوب منطقه که سرعت موج برشی که بر اساس داده‌های ژئوتکنیک پایین‌تر از مقادیر ۳۷۵ متر و بالاتراز ۱۷۵ متر بر تانیه است دارای ضریب تشدید حدود ۱/۲ بوده و در نتیجه مقادیر شدت زمین‌لرزه بالاتر خواهد بود (جدول ۵).

تشدید موج زمین‌لرزه‌ای عموماً با سه اثر ستون خاک، اثر لبه حوضه و اثر توپوگرافی شناخته می‌شود که توسط برخی از شرکت‌های مهندسی مشاور مانند مهندسین مشاور پایادژ، (۱۳۹۵: ۳۵) و مهندسین مشاور سداژما تیوا، (۱۳۹۷: ۲۸) ارائه شده است. از آن جا که در این تحقیق تنها به مطالعه محتوی رسوبی واحدهای کواترنری تهران محدود شده است اثر سایر عوامل موثر مثل توپوگرافی و لبه حوضه در تشدید موج بررسی نشده است. از سوی دیگر میزان شتاب جنبش نیرومند زمین در این تحقیق محدود به ارقام منتشر شده توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۸: ۳) است که برای سراسر تهران معادل $g/۰.۳۵$ برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال با احتمال وقوع

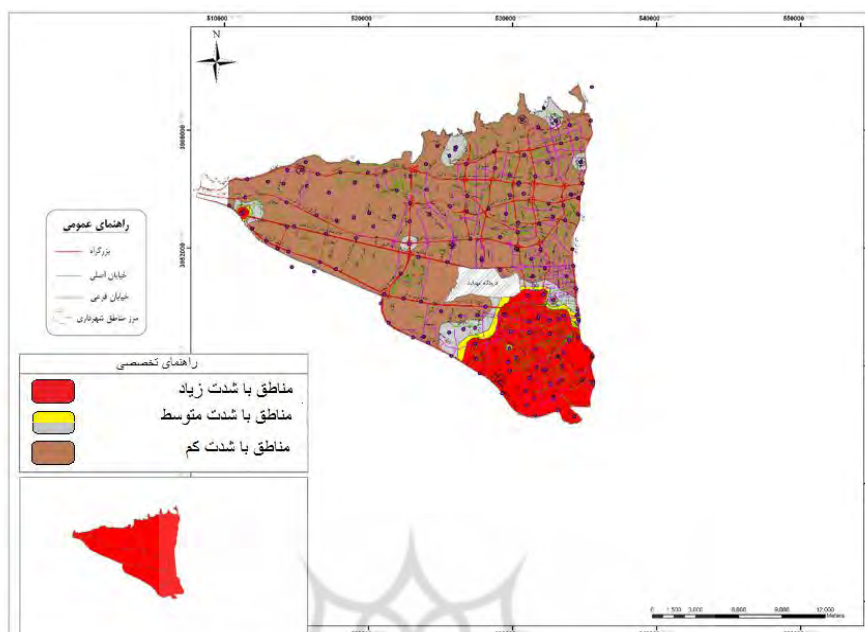
جدول ۵. مقایسه مقادیر بزرگنمایی شدت لرزش که در آن UBC و آیین‌نامه ۲۸۰۰

مقادیر بزرگنمایی شدت لرزش					انواع پروفیل خاک	
شدت لرزش					آیین‌نامه ۲۸۰۰	UBC
$Aa \geq 0.5$	$Aa = 0.4$	$Aa = 0.3$	$Aa = 0.2$	$Aa \leq 0.1$		
۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	I	A
۱	۱	۱	۱	۱	II	B
۱/۱	۱	۱/۱	۱/۲	۱/۲	III	C
۱/۱	۱/۱	۱/۲	۱/۴	۱/۶	IV	D
ss	۰/۹	۱/۲	۱/۷	۲/۵		E
ss	ss	ss	ss	ss		F

مأخذ: Kramer, 2018

تنبویی از ریز دانه و درشت دانه) می‌توان ضریب تشدید را بین دو منطقه قرار داد.

نقشه پهنه‌بندی تشدید زلزله شکل ۱۱، ارائه شده است. با توجه به این که نوار قسمت میانی ترکیبی از خاک دو منطقه است



شکل ۱۱. بزرگنمایی حرکت تند زمین در منطقه مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

کلان‌شهر تهران به سرعت در حال بزرگ شدن است و از طرفی در حاشیه جنوبی کوهپایه سلسله جبال البرز واقع شده است که به‌عنوان یکی از نقاط فعال، توسط گسل‌هایی بزرگ و مهم احاطه شده است. بر همین اساس مطالعه حاضر، با هدف تعیین محدوده‌های آسیب‌پذیر و مقاوم مناطق آبرفتی غرب شهر تهران در مقابل مخاطرات لرزه‌ای اجرا گردید و به بررسی شکستگی‌های مهم و گسل‌های مؤثر با استفاده از دیاگرام‌های رسوبی گمانه‌های حفاری شده و داده‌های ژئوتکنیکی پرداخت.

تهران به‌عنوان پایتخت که دارای بیش‌ترین امکانات اقتصادی، اجتماعی، صنعتی و سیاسی کشور است و به لحاظ جمعیت چندین میلیونی، با وجود گسل‌های متعدد فعال در مناطق مختلف خود، شریان حیاتی آسیب‌پذیر، بافت شهری، مهاجرت و ساخت و ساز بی‌رویه، به‌شدت در معرض آسیب‌های جبران‌ناپذیر است. تا زمانی که ساخت و سازها براساس اصول مهندسی نباشد و حریم گسل‌ها رعایت نشود و سازه‌ها بر روی زمین‌هایی با خاک سست و خاک دستی بنا شود، باید منتظر وقایع ناگوار در ابعاد وسیع بود. از آن‌جا که برای سازه‌های کوچک و بزرگ کلان‌شهرها، از جمله شهر تهران، ضرایب مقاومت و پایداری در برابر زلزله رعایت نمی‌شود، با وقوع زمین لرزه پیامدهای نگران‌کننده و احتمالاً فاجعه‌انگیز قابل‌انتظار است.

در این تحقیق در انجام برآوردهای شدت و مخاطرات روان‌گرایی، فرض بر صحت مطالعات برآورد خطر زمین‌لرزه ارائه شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ گرفته و شدت جنبش نیرومند زمین دست بالا معادل $0.35g$ منظور شده است.

مطالعات متعدد نشان دادند که چشمه‌های زمین‌لرزه‌ای مورد استفاده برای برآورد خطر زمین‌لرزه به گسل مشا، شمال ری، و شمال تهران محدود شده‌است. بررسی‌های ساختاری در منطقه نشان دهنده حرکت با نرخ بالای گسل باغ فیض در بازه زمانی بعد از رسوب‌گذاری آبرفت شمال تهران است که حتی با قائم شدن این رسوبات همراه شده است. در گستره تهران بحث انتشار روابط کاهیدگی نسل جدید مطرح است که در بعضی موارد حساس به گسل‌های میدان نزدیک هستند. مقدار بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین در سراسر کلان‌شهر تهران از مجاورت گسل شمال تهران تا مناطق مرکزی دور دست نسبت به آن یکسان و معادل $0.35g$ نیست.

نتایج این تحقیق نشان داد که بخش‌های جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه از نظر تشدید شدت امواج لرزه‌ای دارای بیش‌ترین تأثیر و ناحیه شمالی آن فاقد هرگونه تشدید و عملاً ممکن است با تضعیف امواج لرزه‌ای همراه شده باشد. راستای بیش‌تر گسل‌های منطقه با کله‌لرزه‌های ثبت شده توسط شبکه‌های لرزه‌نگاری استان تهران، به‌ویژه در محل تلاقی گسل‌ها تطبیق

- ✓ تعیین مقدار بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین در سراسر کلان‌شهر تهران در فواصل مختلف از گسل شمال تهران؛
- ✓ تعیین و ترسیم نقشه میزان شدت یا میرایی امواج لرزه‌ای در سراسر کلان‌شهر تهران؛
- ✓ تعیین و ترسیم نقشه پهنه‌بندی روان‌گرایی و نشست خاک در سراسر کلان‌شهر تهران؛
- ✓ تعیین و رعایت ضرایب مقاومت و پایداری در برابر زلزله در سراسر کلان‌شهر تهران هنگام ساخت و ساز؛
- ✓ مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و سازه‌های مهم مانند پل‌ها و بزرگراه‌ها و بازسازی بافت‌های فرسوده براساس داده‌های PGA در شهر تهران.

منابع

۱. آقابیاتی، علی (۱۳۸۴). *زمین‌شناسی ایران*، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و معدنی کشور.
۲. احمدی، حسن، فیض‌نیا، سعید (۱۳۹۵). *سازندهای دوره کواترنری (مبانی نظر و کاربردی آن در منابع طبیعی)*، انتشارات دانشگاه تهران.
۳. جعفری، مهدی، پورآذین، خلیل (۱۳۷۶). *ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای جنوب شرقی تهران از دیدگاه تاثیرات ساختمانی*، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
۴. جعفری، مهدی (۱۳۸۱). *ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شمال تهران از دیدگاه تاثیرات ساختمانی*، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
۵. رستگار، بلال، گورایی، ابوالقاسم، دربان آستانه، علیرضا (۱۳۹۸). *ارزیابی مخاطرات ناشی از زمین لرزه بر بافت‌های فرسوده و ناپایدار شهر بجنورد*، فصلنامه دانش انتظامی خراسان شمالی، سال ۷، شماره ۲: ۷۵-۱۱۰.
۶. عطایی، سیده زهرا، فاطمی‌عقدا، سید محمود (۱۳۹۰). *بررسی مخاطرات لرزه‌ای مناطق ۲۲ گانه تهران بر مبنای تحلیل تعیینی خطر زلزله*، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، تهران.
۷. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۸). *آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله*، استاندارد ۸۴-۲۸۰۰.
۸. مهندسین مشاور پایادژ، (۱۳۹۵). *گزارش مطالعات ژئوتکنیک بیمارستان سعادت‌آباد*.
۹. مهندسین مشاور سدآما تیوا، (۱۳۹۷). *گزارش بررسی‌های لرزه‌شناسی درون چاهی ساختمانی*، مجتمع شرکت تامین گستر.
۱۰. ولدبگی، برهان‌الدین، پورحیدری، غلامرضا (۱۳۹۰). *آیا برای مواجهه با حوادث آماده‌اید؟* انتشارات مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی هلال ایران.

11. Kerr, J. Nathan, S. (2016). *Planning for*

درد و می‌توان نتیجه گرفت که مناطقی از این شهر در معرض خطر زمین‌لرزه بوده و باید از نظر لرزه‌خیزی مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر اثر تشدید امواج لرزه‌ای با توجه به کیفیت نظری خاک امکان استعداد روانگرایی در منطقه نیز حائز اهمیت است. معیار لرزه‌ای برای گستره تهران نشان از لزوم بررسی استعداد روان‌گرایی در منطقه می‌باشد، برای مناطقی از شهر تهران که خاک آن سن پلیستوسن پسین داشته (۱۱۰۰۰ سال تا ۱۶۰۰۰۰ سال قبل) و سطح آب زیرزمینی کمتر از ۲۰ فوت باشد و (PGA) در سطح ۱۰ درصد احتمال فزونی در ۵۰ سال (۴۷۵ سال) بیش از $0.3g$ باشد، انجام محاسبات ضروری است. از نظر معیارهای خاک‌شناسی نیز گوشه‌ای از منطقه مورد مطالعه واجد شرایط انجام این برآورد است. زیرا تعداد SPT تصحیح شده در بعضی از نمونه‌های اخذ شده کمتر از ۳۵ است و مواد رسی (با اندازه دانه کوچک‌تر از 0.075 میلی‌متر)، کمتر از ۱۰ درصد کل است. با وجود این در مناطقی که حائز این شرایط است سطح آب زیرزمینی عمیق‌تر از ۵۰ فوتی است که استعداد روان‌گرایی در منطقه را بالا می‌برد.

بخش جنوب شرقی ناحیه مورد مطالعه از خیابان حدود خیابان قزوین تا انتهای منطقه مورد مطالعه (حریم منطقه ۱۸ و ۱۹)، با اثر تشدید امواج لرزه‌ای همراه خواهد شد. گسل‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه ممکن است واجد توان لرزه‌زایی بوده و در عمق با ساختارهای با هندسه طویل در ارتباط باشد.

با توجه به اهمیت شهر تهران به‌عنوان یکی از شهرهای پرجمعیت و از طرفی قرار گرفتن آن در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی بالا و با توجه به اطلاعات پرارزشی که می‌توان از مطالعات زیرسطحی به‌دست آورد.

با لحاظ کردن سایر شرایط موجود می‌توان در غالب کارهای گروهی متشکل از متخصصین مختلف نسبت به تهیه نقشه‌های زیر سطحی در محیط GIS که کمک زیادی به سازمان‌ها و ادارات عمرانی می‌کند اقدام کرد. بنابراین مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و سازه‌های مهم مانند پل‌ها و بزرگراه‌ها و بازسازی بافت‌های فرسوده، کاری بسیار مهم است و باید در اولویت قرار گیرد.

راهکارها

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش و با توجه به این که کل شهر تهران بر روی آبرفت قرار دارد، راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- ✓ تعیین نحوه ارتباط عمقی کلبه گسل‌های شهر تهران با آبرفت‌ها

- development of land on or close to active faults*, Wellington, New Zealand.
12. Guest, B. Axen, G. Lam, S. Hassanzadeh, J. (2006), *Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains*, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation, *Geosphere*, 2: 35-52.
 13. Lewis, D. and Jaana M. U. (2017). *Urban vulnerability and good government*. Journal of contingencies and crisis management 22. Max, Wyss and Azms. Al homoud, (2017). Scenarios of seismic risk in the United Arab Emirates, an approximate estimate. Switzerland.
 14. Ishihara K. Ansal A.M. (2017), *Dynamic Behavior of soils, Amplification and Soil Structure Interaction*, Final Report, Report for Working Group D, UNDP/UNESCO Project on Earthquake Reduction in the Balkan Region.
 15. Kramer Steven (2018), *Geotechnical Earthquake Engineering*, University of Washington.
 16. Riviere, A. (1934). *Contributions à l'étude géologique de l'Elburz*, Rev. Geogr. Phys. Geol. Dynam, Paris, No. 7: 1-190.
 17. Riviere, A. (1936), *Contribution à l'étude géologique de l'Anti - Elborz*, Bulletin Society Geological France, Paris 5: 277-298.
 18. Tchalenko, J. Iranmanesh, M. Mohajer Ashjai, A. (1971), *The Babol-kenar 1971 earthquake and seismotectonic of the Central Alborz, Iran*, Geological Survey of Iran, Rep. No. 29: 48-63.
 19. Tchalenko, J.S. (1974), Recent destructive earthquakes in Central Alborz, In: Materials for the study of seismotectonic of Iran, North-Central Iran, Geological Survey of Iran, Rep. No. 29: 97-119.

