

# ارزیابی پتانسیل روانگرایی در بخشی از نواحی جنوب شرقی تهران

## فرج‌اله عسکری

استادیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

## مجید کسایی

کارشناس ارشد پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

(تاریخ دریافت ۸۱/۷/۱۰، تاریخ تصویب ۸۲/۲/۲۰)

## چکیده

این مقاله به ارزیابی پتانسیل روانگرایی ناحیه‌ای از جنوب شرق تهران می‌پردازد. روش مورد استفاده جهت این ارزیابی با توجه به مقیاس مطالعه روش ساده شده سید و همکاران (Seed et al) [۱] بوده است. در برآورد شتاب حداکثر سطح زمین ابتدا شتاب سنگ بستر براساس دوره بازگشت ۴۷۵ و عمر مفید ۵۰ ساله برای زمین لرزه‌ای به بزرگای ۷/۵ محاسبه و شتاب سطح زمین براساس شتاب سنگ بستر و لحاظ اثر شرایط ساختگاهی بدست آمده است. ناحیه مورد مطالعه به نواحی کوچکتر تقسیم گردیده و لایه‌بندی خاک برای هر یک از این نواحی بدست آمده است. در ادامه ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی در اعماق مختلف محاسبه گردیده و با استفاده از روش ایواساکی و همکاران (Iwasaki et al) [۲] شاخص پتانسیل روانگرایی تعیین شده و خطر روانگرایی مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به برآورد پتانسیل روانگرایی در هر شبکه در نواحی شمالی و جنوبی منطقه مورد بررسی پتانسیل روانگرایی صفر است و خطر روانگرایی این مناطق را تهدید نمی‌کند. در نواحی مرکزی محدوده مورد بررسی خطر روانگرایی کم است ولی جهت احداث سازه‌های مهم بایستی مطالعات دقیق‌تر انجام پذیرد. در ناحیه شمال غربی و جنوب شرقی نیز خطر روانگرایی زیاد بوده و مطالعه دقیق در این مناطق برای انواع سازه‌ها لازم می‌باشد.

## واژه‌های کلیدی: روانگرایی، پهنه‌بندی، مخاطرات لرزه‌ای، روش ساده شده

## مقدمه

در سه دهه اخیر استفاده از روشی تحت عنوان "روش ساده شده" جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاکها بسیار متداول بوده است. این روش که توسط سید و ادريس (Seed & Idriss) در سال ۱۹۷۱ پایه‌ریزی شد [۳] به مرور زمان با توجه به اطلاعات مربوط به زلزله‌های بوقوع پیوسته اصلاح گردیده است [۱،۴،۵،۶،۷].

در این مقاله نتیجه مطالعات پهنه‌بندی بخشی از منطقه جنوب شرق تهران با استفاده از "روش ساده شده" ارائه گردیده است. بدین لحاظ ابتدا روشهای پهنه‌بندی خطر روانگرایی در مقیاسهای مختلف بطور مختصر توضیح داده شده و سوابق مطالعات انجام یافته در ارتباط با پتانسیل روانگرایی شهر تهران مرور گردیده است. سپس در ادامه جزئیات نحوه مطالعه در تحقیق حاضر با تفصیل بیشتر ارائه شده است.

## ارزیابی پتانسیل خطر روانگرایی در

## مقیاسهای مختلف

ارزیابی پتانسیل روانگرایی بسته به نوع و اهمیت

زمانی که خاکی سست بصورت تناوبی و در شرایط زهکشی نشده تحت اثر تغییر شکل‌های برشی قرار می‌گیرد، فشار آب‌منفذی بر اثر تمایل خاک به متراکم شدن افزایش می‌یابد. در خاکهای سست تا نیمه متراکم با امکان زهکشی کم و یا عدم امکان زهکشی افزایش فشار آب منفذی در زمان وقوع زلزله به آسانی صورت می‌گیرد. این مسئله به کاهش تنش موثر منجر می‌شود و ممکن است تنش مزبور را تا میزان صفر تقلیل دهد. این شرایط در خاکهای غیرچسبنده متناظر با صفرگشتن مقاومت برشی می‌باشد و به روانگرایی موسوم است. بر اثر وقوع این پدیده امکان بروز تغییر شکل‌های تناوبی بسیار زیاد در توده خاک ایجاد می‌شود.

باتوجه به نتایج تحقیقات موجود، بزرگی زمین‌لرزه و مدت زمان آن، دامنه تنش برشی اعمالی بر توده خاک در زمان وقوع زمین‌لرزه و تراکم نسبی، درصد ریزدانه و نشانه خمیری خاک از مهمترین عوامل موثر در بروز پدیده روانگرایی در یک ساختگاه می‌باشند.

همکاران (Iwasaki et al) در سال ۱۹۸۲ استفاده نمود  
[۲]:

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5z) dz \quad (1)$$

در این رابطه  $P_L$  شاخص پتانسیل روانگرایی و  $F_L$  ضریب اطمینان در برابر روانگرایی در عمق  $z$  می‌باشد. مقدار  $P_L$  می‌تواند از ۰ تا ۱۰۰ تغییر کند. ایواساکی و همکارانش نشان دادند که در مناطق دارای  $P_L$  بیش از ۱۵ پتانسیل روانگرایی زیاد بوده و در مناطق دارای  $P_L$  کمتر از ۵ پتانسیل روانگرایی به حداقل می‌رسد. جدول (۱) پتانسیل روانگرایی را با توجه به شاخص پتانسیل روانگرایی به چهار گروه طبقه‌بندی می‌کند. در این مقاله روش فوق‌الذکر جهت ارزیابی خطر روانگرایی مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱: تخمین پتانسیل روانگرایی با استفاده از شاخص پتانسیل روانگرایی.

|  |                   |
|--|-------------------|
| خطر روانگرایی خیلی کم است و عموماً نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق نمی‌باشد.  | $P_L = 0$         |
| خطر روانگرایی کم است، بالینحال نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای سازه‌های مهم می‌باشد.   | $0 < P_L \leq 5$  |
| خطر روانگرایی زیاد است و نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای انواع سازه‌ها می‌باشد. استفاده از روشهای کاهش مخاطرات روانگرایی معمولاً ضرورت دارد. | $5 < P_L \leq 15$ |
| خطر روانگرایی خیلی زیاد است و نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق می‌باشد. استفاده از روشهای کاهش مخاطرات روانگرایی ضروری است.                        | $P_L > 15$        |

## بررسی پتانسیل روانگرایی شهر تهران - تاریخچه

در سال ۱۳۷۱ نتایج نخستین مطالعات انجام شده در ارتباط با پتانسیل روانگرایی شهر تهران که توسط بربریان و همکاران در سازمان زمین‌شناسی کشور صورت گرفته بود انتشار یافت [۹]. این نتایج در قالب پهنه‌بندی در مقیاس کوچک برای قسمتی از جنوب تهران ارائه گردید.

یک پروژه ممکن است در مقیاسهای مختلف انجام پذیرد. در حالت کلی انجام مطالعه مخاطرات ناشی از این پدیده در سه حالت کوچک، متوسط و بزرگ مقیاس میسر است [۸].

### الف- مطالعات کوچک مقیاس

این مطالعات عمدتاً بر مبنای اطلاعات موجود از وقوع روانگرایی در زمین‌لرزه‌های گذشته و نقشه‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی صورت می‌گیرد. مقیاس مطالعات در این مقیاس معمولاً بین ۱:۱,۰۰۰,۰۰۰ تا ۱:۵۰,۰۰۰ متغیر است.

### ب- مطالعات متوسط مقیاس

دقت مطالعات در این مقیاس به مراتب بیشتر از مطالعات قبلی است و علاوه بر منابع مورد استفاده در مطالعات مرحله قبل از عکسهای هوایی، مطالعات محلی و گزارشهای ژئوتکنیکی نیز جهت ارزیابی استفاده می‌شود. مقیاس این مطالعات معمولاً از ۱:۱۰۰,۰۰۰ تا ۱:۱,۰۰۰,۰۰۰ متغیر می‌باشد.

### ج- مطالعات بزرگ مقیاس

ارزیابی خطر در مطالعات بزرگ مقیاس با توجه به بررسی‌های دقیق ژئوتکنیکی که در آن وضعیت لایه‌بندی خاک با توجه به نتایج آزمایشهای صحرایی و آزمایشگاهی تعیین می‌گردد صورت می‌پذیرد. مقیاس این مطالعات معمولاً بین ۱:۲۵,۰۰۰ تا ۱:۵,۰۰۰ متغیر است.

استفاده از روش ساده شده در مطالعات بزرگ مقیاس کاربردی گسترده دارد. در این روش پتانسیل روانگرایی بطور موضعی در اعماق مختلف خاک تعیین می‌گردد. بدین منظور از یک سو مقاومت تناوبی خاک در عمق مورد نظر با استفاده از آزمایشهای درجا یا آزمونهای آزمایشگاهی بدست می‌آید و از سوی دیگر تنش تناوبی ایجاد شده در همان عمق با توجه به خصوصیات زلزله محتمل (نظیر بزرگی و شتاب) و وضعیت تنشها در خاک محاسبه می‌شود. مقدار ضریب اطمینان که از تقسیم مقاومت روانگرایی بر تنش برشی ایجاد شده در توده بر اثر وقوع زلزله بدست می‌آید نشان دهنده احتمال وقوع روانگرایی در عمق مورد مطالعه است.

جهت برآورد شدت روانگرایی احتمالی در یک ساختگاه می‌توان از رابطه ارائه شده توسط ایواساکی و

مقیاس بزرگ نمودند [۱۲].

این مطالعات باتوجه به داده‌ها و پارامترهای بدست آمده از ۴۱ گمانه حفاری شده توسط شرکت سهامی آزمایشگاه وزارت راه و ترابری و با استفاده از متدهای مبتنی بر روش ساده شده صورت یافته است.

نتایج این تحقیق که برای شتابهای  $0.2g$ ،  $0.25g$ ،  $0.35g$ ،  $0.4g$  و  $0.45g$  صورت پذیرفته نشان‌دهنده وجود لایه‌های مستعد روانگرایی در مناطق و اعماق مختلف می‌باشد. براساس پهنه‌بندی صورت پذیرفته منطقه برای شتابهای  $0.25g$  و  $0.4g$  دارای خطرپذیری بالایی نسبت به وقوع پدیده روانگرایی بوده و دارای اثرات مخربی در سطح خواهد بود.

### برآورد پتانسیل روانگرایی در جنوب شرقی تهران

در این بخش نتایج ارزیابی پتانسیل روانگرایی (در مقیاس بزرگ) در بخشی از منطقه جنوب شرق تهران ارائه شده است. بدین لحاظ ابتدا وضعیت لرزه‌خیزی، زمین‌شناسی و آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته و با استفاده از نتایج این مطالعات و اطلاعات در دسترس از گمانه‌های حفاری شده در منطقه، پروفیل‌های نمونه‌ای برای لایه‌بندی خاک در بخشهای مختلف تهیه شده است. سپس با استفاده از روش ساده شده سید و ادیس مقاومت روانگرایی در پروفیل‌های مذکور بررسی و پتانسیل روانگرایی با استفاده از ضریب اطمینان بدست آمده در اعماق مختلف و بکارگیری روش ایواساکی و همکاران ارزیابی شده است.

شایان ذکر است که در مطالعات انجام یافته توسط سایر محققان که در بخش قبل بدان اشاره شد شتاب حداکثر سطح زمین در تحلیلها فرض گردیده و یا با استفاده از آیین‌نامه زلزله ایران تخمین زده شده است. یکی از تفاوت‌های تحلیل‌های موجود با مطالعات صورت گرفته در گذشته استفاده از نتایج مطالعات لرزه‌خیزی و شرایط ساختمانی در تحقیق حاضر است.

### موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

از نظر مختصات جغرافیایی، منطقه مورد مطالعه بین

براساس این مطالعات بهنگام زمین‌لرزه‌ای با بزرگای متوسط تا بزرگ، روانگرایی خاک و زمین در جنوب تهران و شهر ری (بسبب بالا بودن سطح آب زیرزمینی و رسوبات نرم آبرفتی) و همچنین در مسیر رودخانه‌های کرج، کن، جاجرود و مسیله‌های موجود، رخ خواهد داد.

در سال ۱۳۷۲ روانگرایی جنوب تهران توسط میرمحمدحسینی و کاری مورد ارزیابی قرار گرفت و نقشه پهنه‌بندی در مقیاس متوسط برای ناحیه جنوب تهران ارائه گردید [۱۰]. اساس ارزیابی‌های صورت گرفته در این بررسی بر تحلیل نتایج اکتشافات ژئوتکنیک (آزمایشهای صحرایی و آزمایشگاهی) انجام شده توسط سازمانهای دولتی و غیردولتی در سطح شهر تهران استوار بوده است.

نتیجه این مطالعات بصورت یک نقشه پهنه‌بندی مقدماتی پتانسیل روانگرایی در مقیاس متوسط ارائه گردید. باتوجه به نقشه حاصل، مناطق دارای پتانسیل روانگرایی شناسایی گردید و براساس آن، مناطق مستعد روانگرایی جهت تحقیقات بیشتر و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی دقیقتر (مقیاس بزرگ) مشخص گردید.

در سال ۱۳۷۷ حائری و همکاران پدیده روانگرایی بخشی از تهران را در مقیاس بزرگ مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند [۱۱]. ناحیه مورد مطالعه بخشی از مناطق جنوب غرب حد فاصل خیابانهای نواب از شرق، کمیل از شمال، سبحانی از غرب در منطقه ۱۰ شهرداری و خیابان ابوذر در منطقه ۱۷ شهرداری در جنوب بوده است.

نتیجه مطالعات انجام شده در این پروژه نشان دهنده آن است که در محله‌های حفاری شده لایه‌هایی کم ضخامت و در اعماق مختلف و مستعد روانگرایی وجود دارد اما باتوجه به عمق نهشته‌های مستعد روانگرایی و فاصله از سطح زمین میزان شاخص پتانسیل روانگرایی تمامی نواحی ارزیابی شده بسیار کم و در حد خطرپذیری پایین روانگرایی واقع هستند. این مطالعات با در نظر گرفتن شتاب حداکثر  $0.35g$  در سطح زمین صورت گرفته است.

در سال ۱۳۷۸ میرمحمدحسینی و همکاران در راستای پروژه‌های تحقیقاتی تعریف شده در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و با همکاری و مشارکت شرکت سهامی آزمایشگاه وزارت راه و ترابری، اقدام به مطالعه پتانسیل روانگرایی جنوب شرقی تهران در

مختلف براساس نتایج آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) بوده است.

نانکه در شکل (۲) ملاحظه می‌شود با فاصله گرفتن از ارتفاعات شرق تهران به سمت غرب و نواحی جنوبی، جنس لایه‌ها از ماسه و شن به رسوبات ریزدانه سیلت و رس تغییر می‌یابد. این تغییرات بویژه از ناحیه شمال به سمت جنوب تدریجی بوده و سبب توسعه منطقه حدواسط<sup>۱</sup> در نواحی مرکزی منطقه، مابین خیابانهای جمهوری اسلامی و امام‌خیمینی شده است. در این منطقه تغییرات لایه‌های مختلف از نظر جنس و ویژگیهای ژئوتکنیکی در اعماق مختلف بسیار زیاد بوده و لایه‌های ریزدانه و درشت‌دانه به تناوب بر روی هم قرار گرفته‌اند. با دور شدن از این منطقه به سمت جنوب و جنوب غرب، اندازه ذرات ریزتر شده و به صورت لایه‌های رسی و سیلتی ظاهر می‌شوند.

### شبکه‌بندی محدوده مورد مطالعه

جهت مطالعه دقیق و سیستماتیک خطرات ژئوتکنیکی، محدوده مطالعاتی به نواحی کوچکتر تقسیم‌بندی گردید. بدین منظور شبکه‌ای منظم که هر واحد آن شامل مربعی به ضلع ۱ کیلومتر بوده در نظر گرفته شده است (شکل ۳). پارامترهای مورد نیاز جهت برآورد خطر روانگرایی نظیر لایه‌بندی خاک، عمق آب زیرزمینی و شتاب سطح زمین در هر یک از واحدهای مربع شکل شبکه بطور جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

### وضعیت آبهای زیرزمینی

وسعت دشتهای دامنه جنوبی البرز حدود ۴۸۰۰ کیلومترمربع است که ۴۴۰۰ کیلومترمربع آن از رسوبات آبرفتی پوشیده شده است. دشت تهران همانند یک مخزن انباشته از آبرفت است که دارای شرایطی بسیار مناسب برای ایجاد یک منبع آب زیرزمینی می‌باشد. آب زیرزمینی به پیروی از شیب عمومی زمین از ارتفاعات به سمت دشتهای و مناطق پست کویری در جریان است. وضعیت تراز آب زیرزمینی عموماً در نواحی شمال در اعماق پایین‌تر قرار گرفته و به تدریج با فاصله گرفتن از ارتفاعات به سمت جنوب به سطح زمین نزدیک می‌شود، بطوریکه در

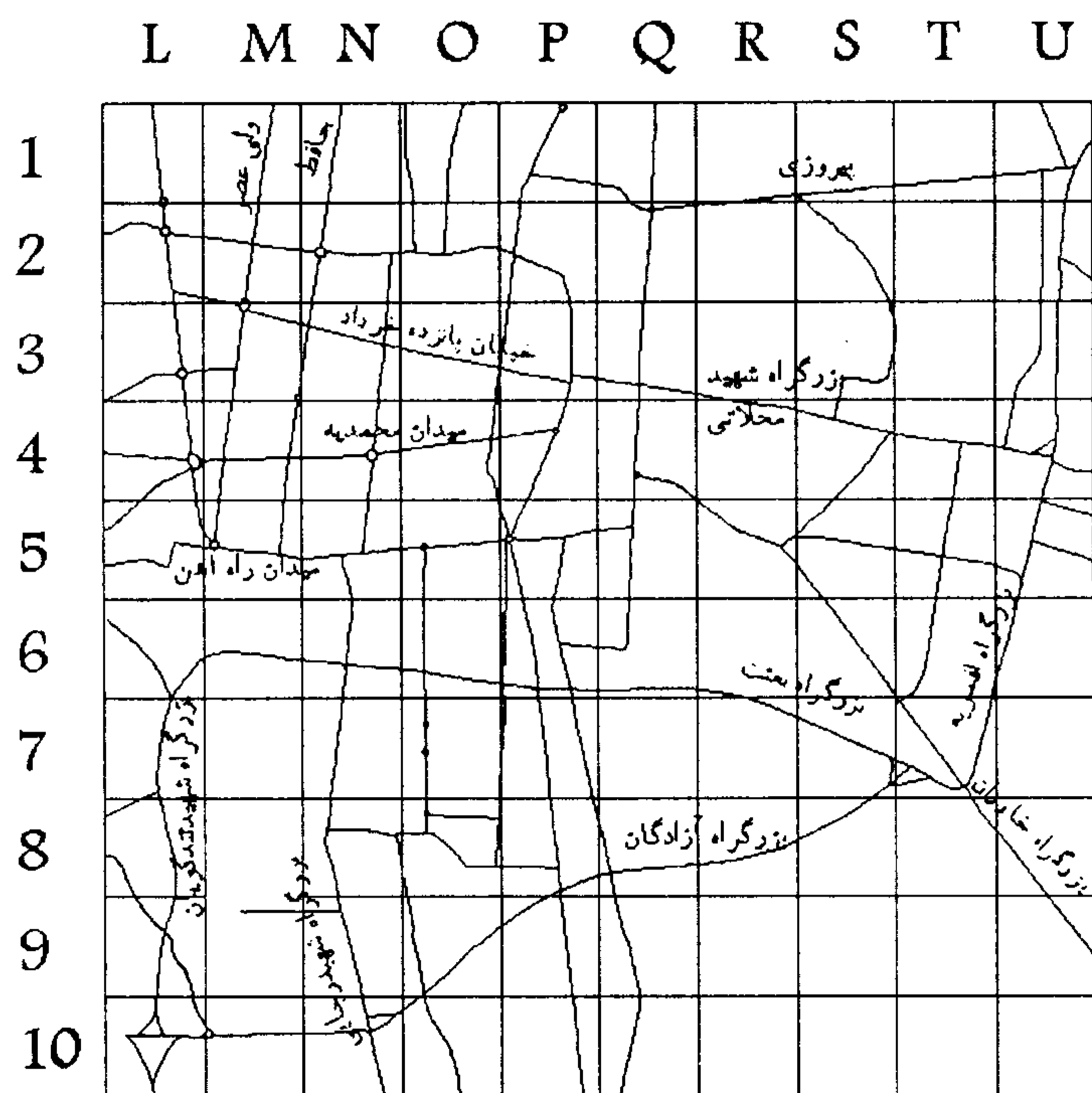
طولهای جغرافیایی "۵۱° ۲۳' ۴۸" الی "۵۱° ۲۹' ۴۶" شرقی و عرضهای جغرافیایی "۳۵° ۳۶' ۳۷" الی "۴۲° ۲' ۲" شمالی قرار گرفته است. محدوده مورد مطالعه چنانکه قبلاً نیز ذکر گردید در جنوب شرق شهر تهران واقع می‌باشد که از طرف شمال به خیابانهای پیروزی و انقلاب اسلامی، از طرف غرب به خیابانهای کارگر جنوبی و بزرگراه شهید تندگویان، از طرف شرق به بزرگراه افسریه و از طرف جنوب به بزرگراه آزادگان محدود می‌شود (شکل ۱).

### وضعیت زمین شناسی آبرفتهای محدوده مورد مطالعه

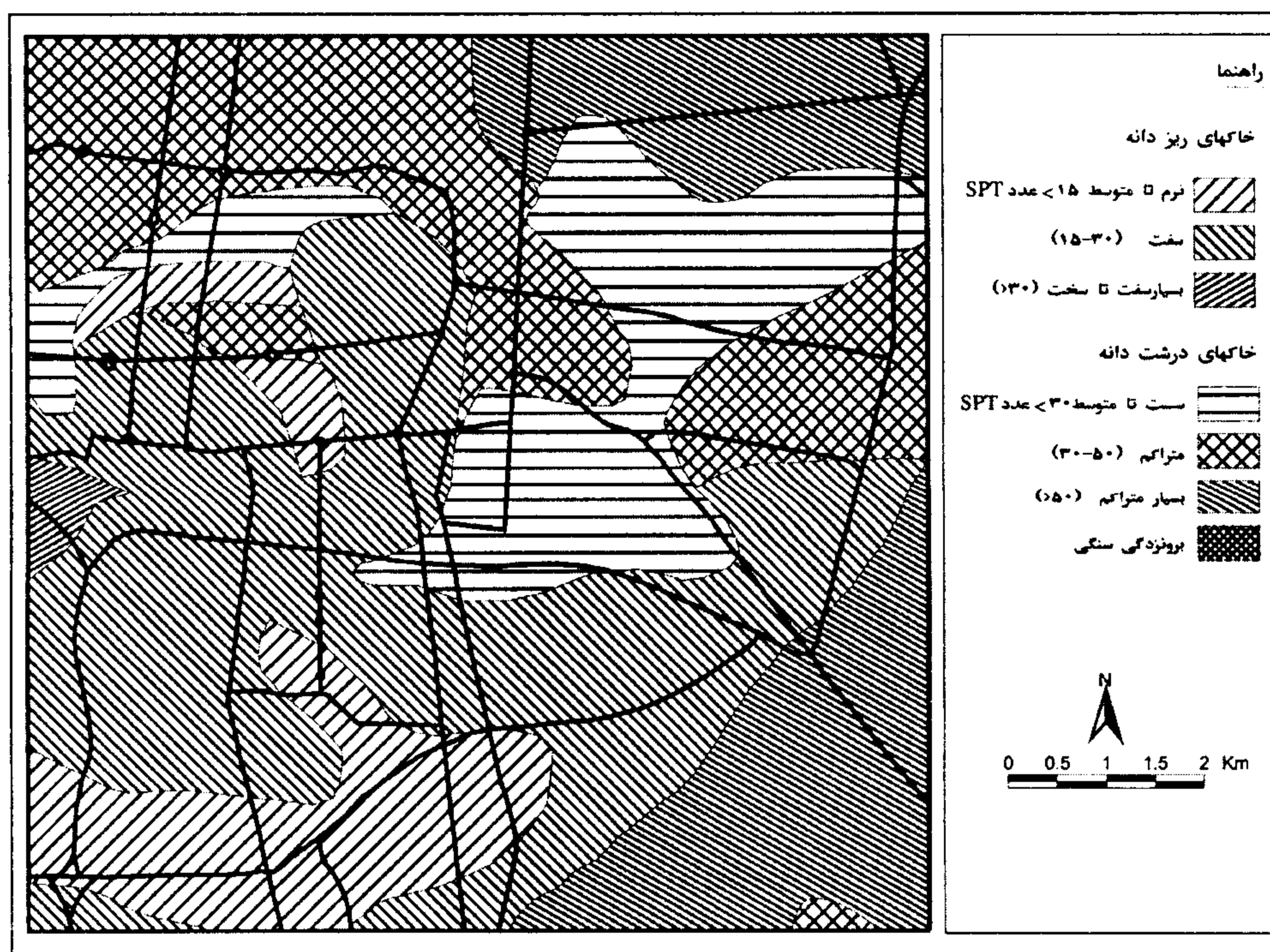
حوضه آبرفتی جنوب البرز در راستای شمال باختر به جنوب خاور امتداد یافته و پوشیده از رسوبات آبرفتی غیریکنواخت است. این رسوبات اغلب بر روی بستر غیرقابل نفوذی از رسوبات مارنی مربوط به دوران میو - پلیوسن قرار گرفته‌اند و حاصل فعالیت رودخانه‌ها و سیلابهای فصلی جریان یافته از کوههای البرز می‌باشند. تأثیر فرآیندهای آب و هوایی از یک سو و فعالیتهای تکتونیکی جوان از سوی دیگر سبب برجا گذاشته شدن رسوبات آبرفتی متنوع - از نظر جنس، اندازه ذرات، وزن مخصوص و پارامترهای مقاومتی - در دشت تهران شده است.

برآورد خصوصیات ژئوتکنیکی آبرفتهای تهران بدلیل پوشیده بودن سطح زمین توسط مناطق مسکونی و تأسیسات شهری تا حدودی مشکل است و به همین سبب گمانه‌های حفاری شده در مناطق شهری منابع اطلاعاتی با ارزشی برای شناخت ویژگیهای ژئوتکنیکی این رسوبات می‌باشند.

در مطالعه حاضر از نقشه زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌های آبرفتی منطقه مورد مطالعه (شکل ۲) استفاده شده است [۱۳]. این نقشه با استفاده از مطالعه عکسهای هوایی، بررسی داده‌های ژئوتکنیکی، بازدیدهای صحرائی و مشاهده مستقیم نهشته‌های آبرفتی در مناطق مختلف محدوده مورد مطالعه تهیه شده است. داده‌های ژئوتکنیکی مورد استفاده برای تهیه نقشه مذکور شامل رده‌بندی خاکهای تشکیل دهنده رسوبات آبرفتی براساس طبقه‌بندی یونیفاید (USCS) و میزان مقاومت لایه‌های



شکل ۱: حدود منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شده در بخش جنوب شرق تهران جهت بررسی پتانسیل وقوع روانگرایی.



شکل ۲: نقشه زمین شناسی مهندسی منطقه مورد مطالعه [۱۳].

از آنجا که دفع فاضلاب از طریق سنتی و بوسیله چاههای جذبی صورت می گیرد، تزریق سالیانه حجم زیادی آب

منتهی الیه دشت با رسیدن به سطح زمین ایجاد شوره زار می نماید.

منطقه (شکل ۲) نیز استفاده شده است. از آنجائیکه گمانه‌ها در گستره مورد مطالعه بصورت یکنواخت توزیع نشده‌اند، در شبکه‌هایی که بیش از یک گمانه در آنها حفاری شده اقدام به تلفیق اطلاعات شده است. پروفیل نمونه شامل لایه‌بندی خاک و رده‌بندی آن در سیستم یونیفاید، عمق آب زیرزمینی و نتایج آزمایش نفوذ استاندارد در اعماق مختلف بوده است. در شبکه‌هایی که گمانه‌ای در آنها وجود نداشته، با استفاده از شبکه‌های مجاور و همچنین نقشه زمین‌شناسی مهندسی منطقه پروفیلی نمونه در نظر گرفته شده است.

پس از تهیه پروفیل‌های ژئوتکنیکی، واحدهای غیرمستعد خطر روانگرایی که دارای شرایط زیر بوده‌اند از دیگر واحدهای شبکه جدا گردیده‌اند:

الف) شبکه‌هایی که در آنها آبرفتها از نوع آبرفت‌های شنی و رسی بوده است؛

ب) واحدهایی که در آنها سطح آب زیرزمینی در عمق بیش از ۲۰ متر قرار داشته است.

واحدهای باقیمانده از شبکه در مرحله بعد مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. در شکل (۵) بعنوان نمونه دو پروفیل از پروفیل‌های ژئوتکنیکی مورد استفاده نشان داده شده است.

## تحلیل پروفیل‌ها جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی

پس از شبکه‌بندی، تهیه پروفیل نمونه در هر شبکه و جداسازی مناطق غیرمستعد، تحلیل پروفیل‌های باقیمانده انجام گردید. در این تحلیل ضریب اطمینان در برابر وقوع روانگرایی در هر پروفیل در اعماق مختلف بدست آمد. این ضریب در هر عمق با محاسبه مقدار تنش تناوبی تولید شده بر اثر وقوع زلزله و همچنین ارزیابی مقدار مقاومت تناوبی و نسبت این دو پارامتر - چنانکه در ادامه توضیح داده شده - بدست آمده است. در نهایت شاخص پتانسیل روانگرایی برای هر پروفیل برآورد شده است.

برآورد شتاب سطح زمین در تعیین پتانسیل روانگرایی به روش ساده شده از ملزومات کار است که این مهم نیز نیازمند مطالعات لرزه‌خیزی می‌باشد. شتاب مورد استفاده در این مطالعه و همچنین بزرگای زلزله براساس مطالعات

از این طریق سبب بالآمدن سطح آب زیرزمینی در محدوده شهری تهران شده است

جهت در نظر گرفتن اثر آب در تحلیلها، از نقشه‌های در دسترس هم عمق آبهای زیرزمینی و مشاهدات موجود در گمانه‌ها استفاده گردیده و در هریک از خانه‌های شبکه مورد بررسی کمترین عمق آب گزارش شده نسبت به سطح زمین جهت انجام محاسبات در نظر گرفته شده است (شکل ۳). اطلاعات در دسترس و مورد استفاده مربوط به سالهای ۱۳۴۵ تا ۱۳۷۹ بوده است [۱۶، ۱۵، ۱۴]. چنانکه در شکل (۴) ملاحظه می‌شود در برخی از خانه‌های شبکه تراز آب زیرزمینی ارائه نشده است. علت این مسئله مستعد نبودن این نواحی جهت وقوع پدیده روانگرایی بوده که در بخش بعد به آن اشاره خواهد شد.

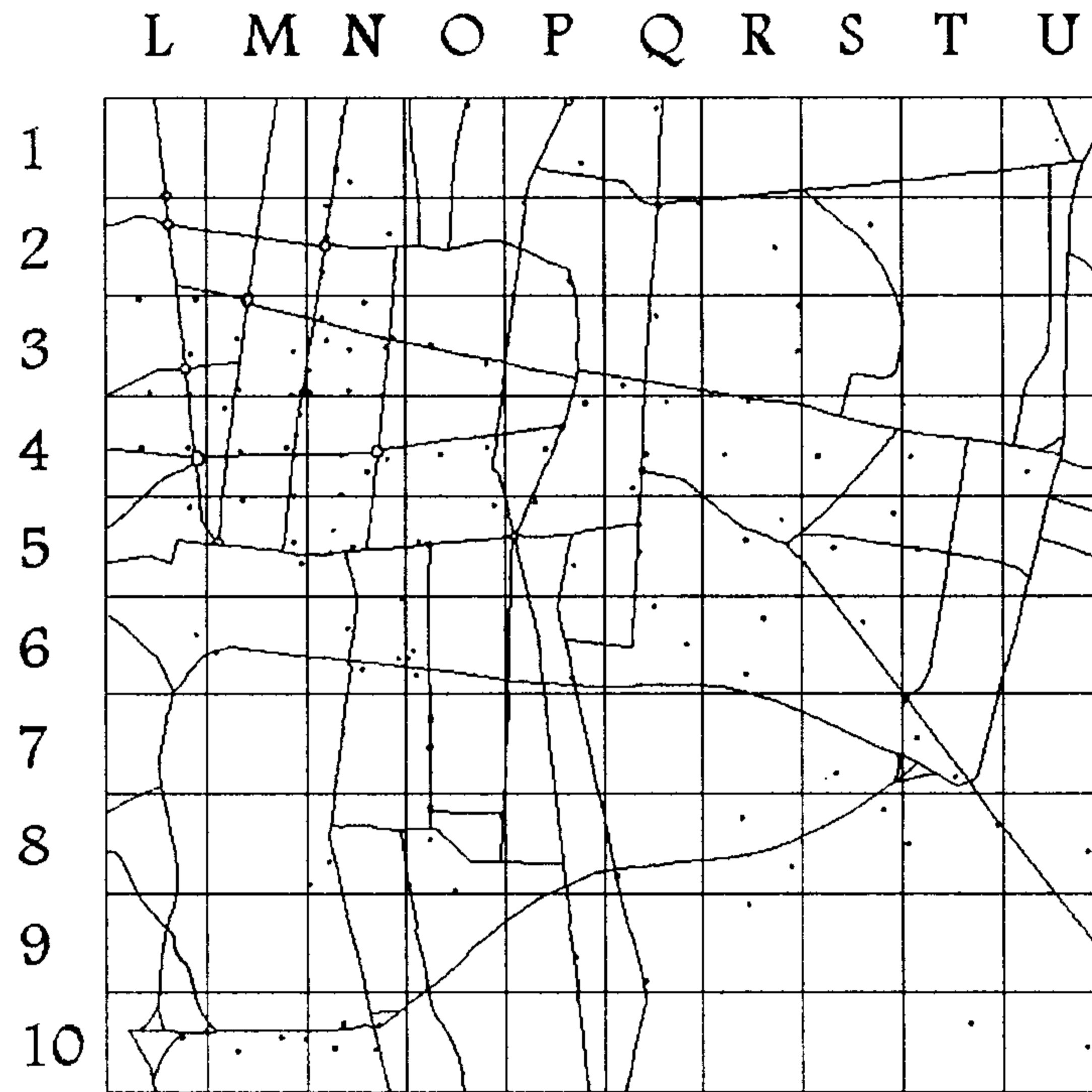
## تهیه پروفیل‌های ژئوتکنیکی

نوع و ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی خاکها از عوامل موثر در میزان قابلیت روانگرایی آنها می‌باشد. خاکهای رسی بدلیل چسبندگی ذاتی و خاکهای شنی به علت مستهلک کردن سریع فشار آب منفذی به هنگام زلزله از قابلیت روانگرایی بسیار کمی برخوردار هستند. خاکهای ماسه‌ای و سیلتی در شرایط سست بدلیل نداشتن چسبندگی قابل ملاحظه، تمایل خاک به کاهش حجم بر اثر ارتعاشات ناشی از زلزله و عدم خروج سریع آب در این زمان مستعد روانگرایی می‌باشند.

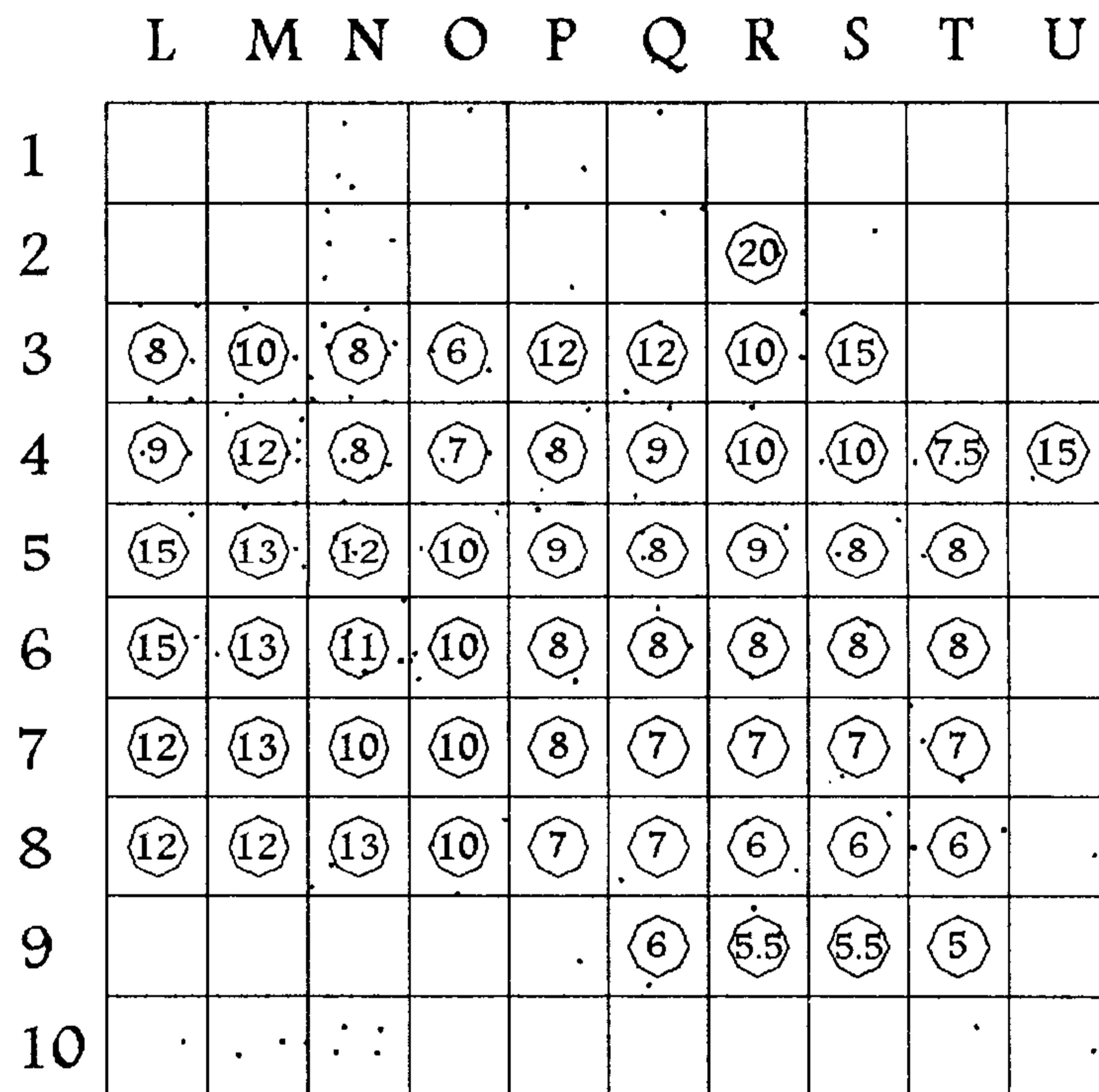
به منظور تعیین و شناسایی مناطق مستعد روانگرایی، پروفیل‌های ژئوتکنیکی با استفاده از اطلاعات حاصل از گمانه‌های حفاری شده توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و تدقیق آنها با استفاده از گزارشهای ژئوتکنیکی در دسترس از مطالعات دیگر شرکتها و موسسات در منطقه مورد بررسی تهیه گردیده است. مراحل تهیه این پروفیلها بشرح زیر بوده است:

- موقعیت گمانه‌ها و شبکه در نظر گرفته شده بر روی نقشه محدوده مورد مطالعه پیاده شده است (شکل ۴).  
- اطلاعات ژئوتکنیکی گمانه‌های قرار گرفته در هر شبکه با یکدیگر تلفیق گردیده و برای هر شبکه یک پروفیل ژئوتکنیکی نمونه تهیه گردیده است.

در تهیه پروفیل‌های نمونه از نقشه زمین‌شناسی مهندسی



شکل ۳: شبکه بندی محدوده و موقعیت گمانه ها.



شکل ۴: شبکه بندی محدوده مورد مطالعه و کمترین عمق آب گزارش شده در هر شبکه (متر).



| Thickness (m) | U.S.C. | Sample | SPT | Density (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|--------|--------|-----|------------------------------|
| 2.0           | CL     |        | 27  | 1830                         |
| 1.0           | CL     |        | 48  | 2080                         |
| 2.0           | CL     |        | >50 | 2100                         |
| 2.0           | CL     |        | 27  | 1820                         |
| 2.0           | CL     |        | 19  | 1760                         |
| ▽ 1.5         | SM     |        | >50 | 2150                         |
| 2.5           | SC     |        | 29  | 1880                         |
| 3.0           | CL     |        | >50 | 2100                         |
| 2.2           | CL     |        | 38  | 1950                         |

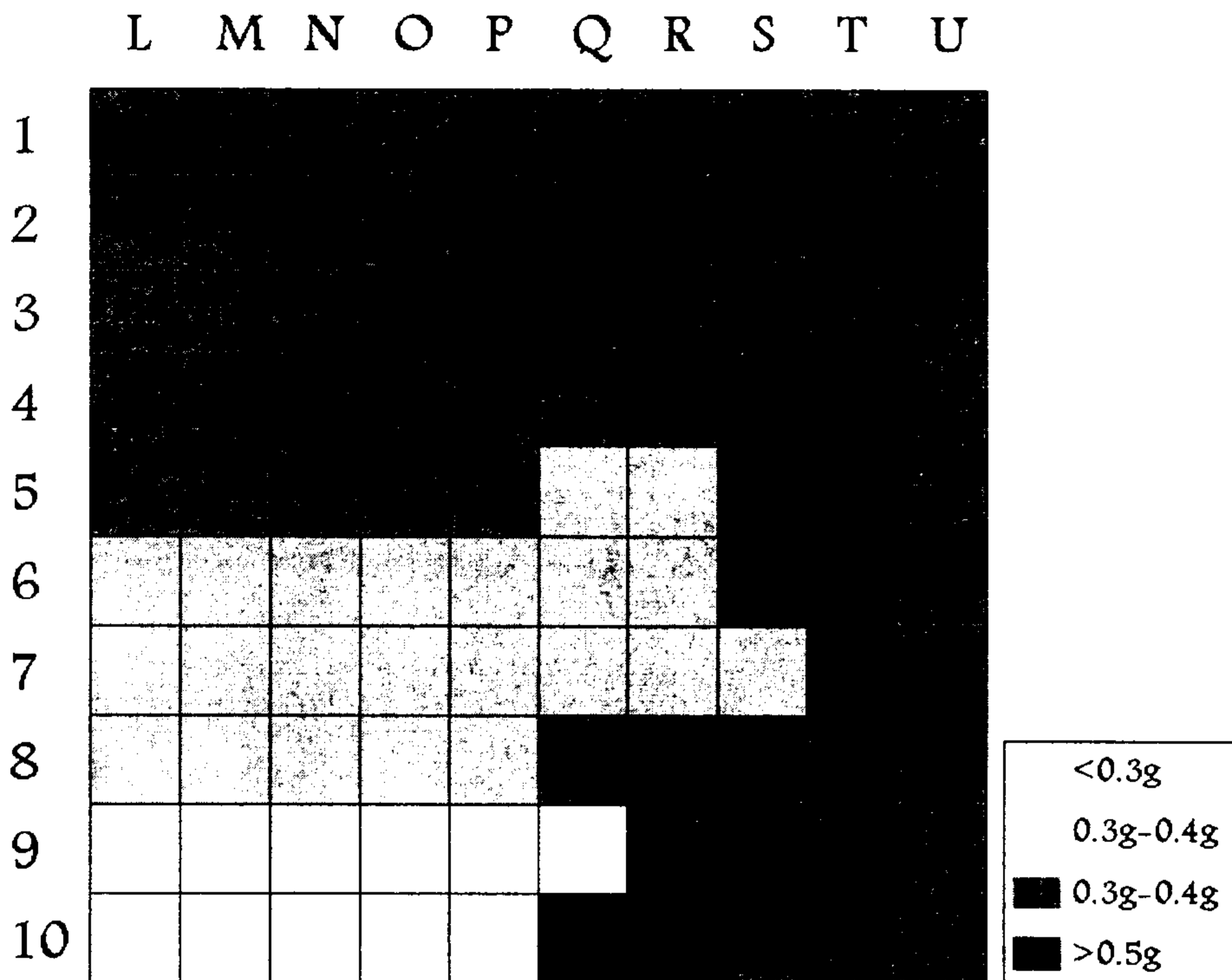
  

| Thickness (m) | U.S.C. | Sample | SPT | Density (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|--------|--------|-----|------------------------------|
| 4.0           | ML     |        | 47  | 1100                         |
| 2.0           | SM     |        | 42  | 1780                         |
| 1.5           | GM     |        | 50  | 1910                         |
| 2.0           | SM     |        | >50 | 1910                         |
| 1.5           | ML     |        | 9   | 1540                         |
| ▽ 2.5         | CL     |        | 11  | 1560                         |
| 6.5           | ML     |        | 24  | 1820                         |

پروفیل N7

پروفیل M4

شکل ۵: دو نمونه از پروفیل‌های مورد استفاده جهت تحلیل.



شکل ۶: حداکثر شتاب سطح زمین براساس دوره بازگشت ۴۷۵ ساله و عمر مفید ۵۰ ساله [۱۷].



مقاومت روانگرایی خاک با توجه به این مقدار جدید می‌باشد (شکل ۸) [۱۹]. بر این اساس  $(N_1)_c$  در ماسه‌های خوب دانه‌بندی شده (SW) و بد دانه‌بندی شده (SP) بدون تغییر و در ماسه‌های لای‌دار (SM) و ماسه‌های رس‌دار (SC) با افزایش حداکثر ۵ واحد در نظر گرفته شده است.

ب- تنش برشی تناوبی<sup>۲</sup> ایجاد شده توده خاک در اثر وقوع زمین لرزه (CSR)

تنش برشی تناوبی ایجاد شده بر اثر وقوع زلزله در یک عمق مورد نظر با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید [۳]:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \times r_d \quad (2)$$

در این رابطه:

$$\tau_{av} = \text{تنش برشی متوسط ایجاد شده بر اثر وقوع}$$

زمین لرزه در عمق مورد مطالعه

$$= \sigma_v$$

$$= \sigma'_v \quad \text{تنش کل در عمق مورد نظر}$$

تنش مؤثر در عمق مورد نظر

$$\alpha_{max} = \text{شتاب افقی حداکثر در سطح زمین بر اثر وقوع}$$

زمین لرزه

$$r_d = \text{ضریب کاهش تنش} (r_d = 1 - 0.15z) \quad \text{که در آن } z \text{ عمق لایه مورد نظر می باشد.}$$

ج- ضریب اطمینان

مقدار ضریب اطمینان در برابر روانگرایی  $F_L$  از

رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} \quad (3)$$

ضریب اطمینان کوچکتر از ۱ نشان دهنده وقوع

روانگرایی در عمق مورد بررسی می‌باشد.

جهت برآورد پتانسیل روانگرایی احتمالی در یک

محل از رابطه (۱) استفاده می‌شود. با استفاده از این رابطه

می‌توان شاخص پتانسیل روانگرایی را برای هر پروفیل

نمونه در شبکه محاسبه کرده و سپس پتانسیل روانگرایی

را در مناطق مختلف ارزیابی کرد. نتایج تحلیل‌های مسزبور

در شکل (۹) ارائه شده است.

لرزه‌خیزی بعمل آمده در منطقه مورد مطالعه توسط همکاران پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تعیین گردیده است [۱۷].

در این مطالعات دوره بازگشت زلزله ۴۷۵ سال و عمر مفید سازه‌ها ۵۰ سال در نظر گرفته شده و براساس آن شتاب حداکثر در سنگ بستر لرزه‌ای و بزرگای زلزله محاسبه شده است. این شتاب در هریک از پروفیلها مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به لایه‌بندی خاک در آن پروفیل و لحاظ اثر شرایط ساختگاهی، شتاب حداکثر سطح زمین محاسبه شده است. براساس این مطالعات، بزرگای زلزله ۷/۵ در مقیاس ریشتر بوده و شتاب حداکثر سطح زمین در محدوده مورد نظر بین ۳g تا ۵g متغیر بوده است (شکل ۶).

الف- تعیین مقاومت برشی تناوبی توده خاک<sup>۲</sup> (CRR)

تعیین مقاومت برشی تناوبی توده خاک با استفاده از

روشهای صحرایی یا آزمونهای آزمایشگاهی امکان‌پذیر

است. غالباً به لحاظ دشواریهای موجود در تهیه نمونه

دست‌نخورده و تعیین مقاومت تناوبی خاک با استفاده از

آزمایشهای آزمایشگاهی، استفاده از آزمایشهای صحرایی

ارجح است. متداولترین روش صحرایی جهت تخمین

پتانسیل روانگرایی استفاده از آزمایش نفوذ استاندارد

(SPT) می‌باشد. با استفاده از نتایج آزمایش SPT در هر

عمق و اعمال ضرایبی اصلاحی، پارامتر  $(N_1)_c$  در آن عمق

بدست می‌آید.  $(N_1)_c$  تابع عواملی از قبیل تنش مؤثر در

عمق مورد بررسی و نوع چکش مورد استفاده جهت انجام

آزمایش می‌باشد و نحوه محاسبه آن بطور مشروح در

استاندارد  $ASTM - D6066$  ارائه شده است [۱۸]. با

استفاده از شکل (۷) - ارائه شده توسط سید و همکاران

(Seed et al) [۱] - نسبت مقاومت تناوبی برای زلزله‌ای با

بزرگای ۷/۵ ریشتر بدست می‌آید.

باتوجه به شکل (۷) ملاحظه می‌گردد که افزایش

درصد ریزدانه در خاکهای ماسه‌ای منجر به افزایش

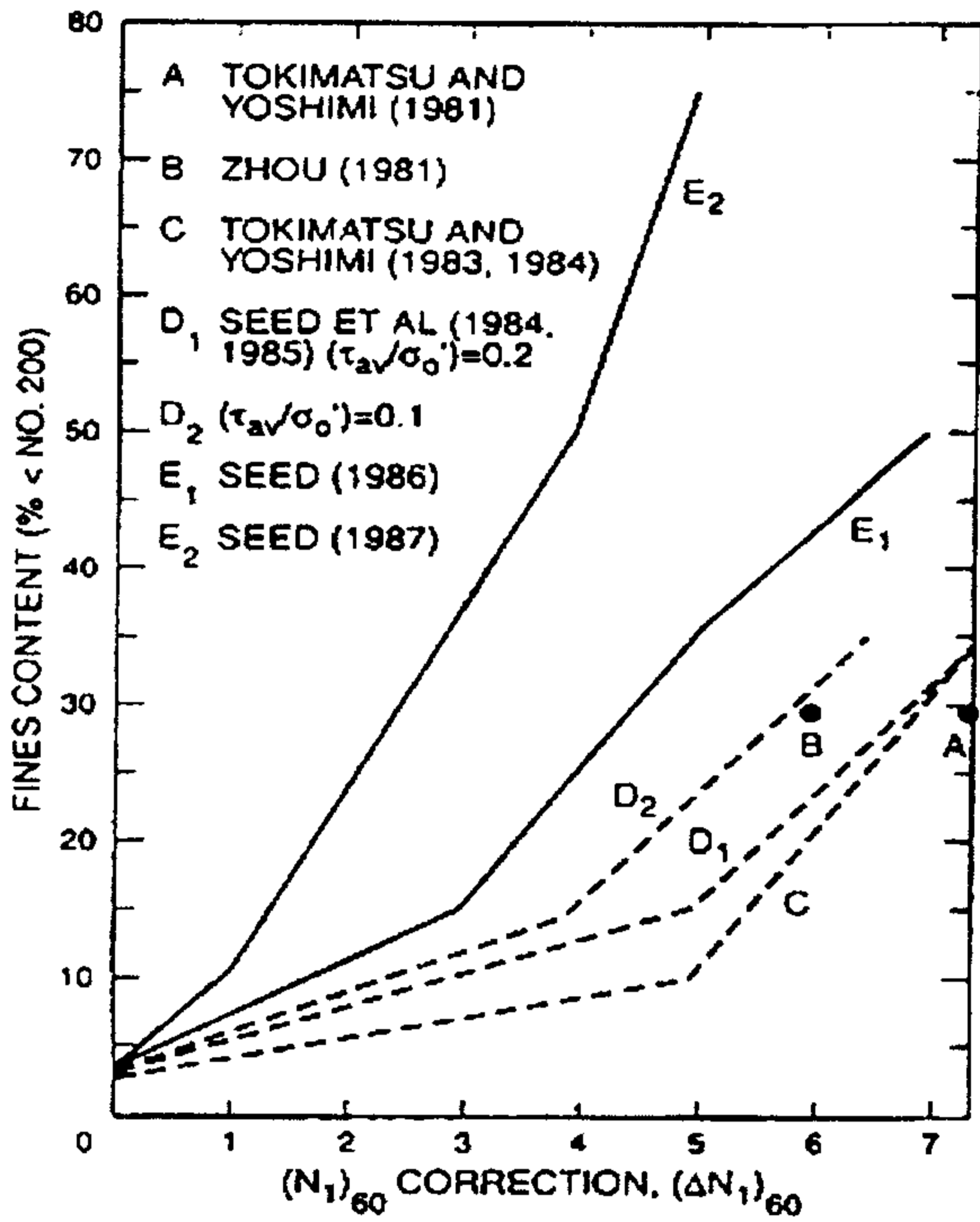
مقاومت روانگرایی می‌گردد. این مسئله به تقریب در

ارزیابی مقاومت روانگرایی ماسه‌های حاوی ریزدانه در نظر

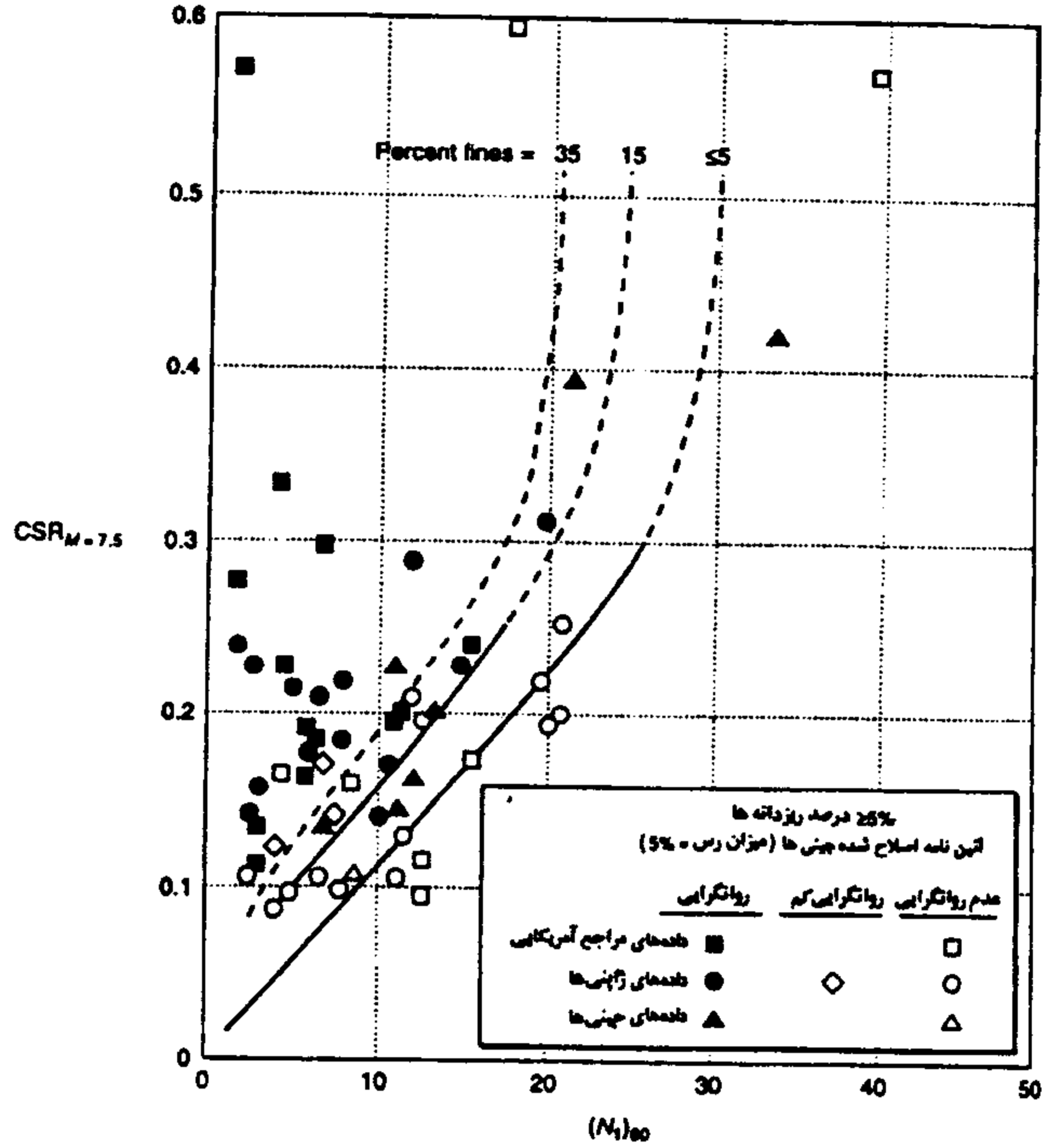
گرفته شده است. یکی از روشهای در نظر گرفتن اثر

ریزدانه در روش ساده شده، افزودن مقاومت نفوذ استاندارد

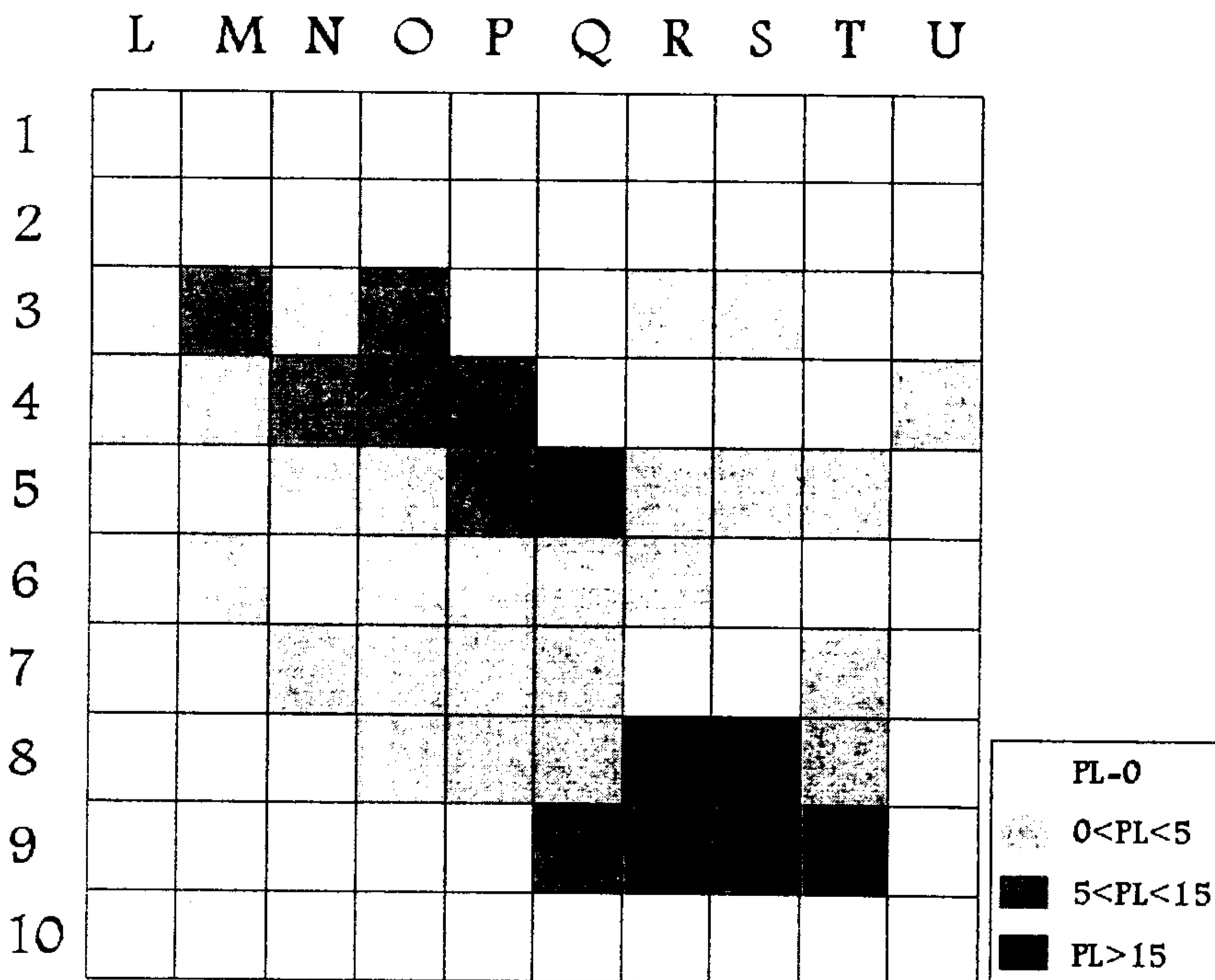
(در اینجا  $(N_1)_c$ ) در ماسه‌های حاوی ریزدانه و یافتن



شکل ۸: اصلاح مقادیر  $(N_1)_{60}$  بر حسب میزان ریزدانه [۱۹].



شکل ۷: نمودار تعیین نسبت مقاومت تناوبی برای ماسه های تمیز و سیلت دار جهت زلزله با بزرگای ۷/۵ در مقیاس ریشتر [۱].



شکل ۹: پتانسیل روانگرایی شبکه های مختلف در محدوده مورد مطالعه.

## تحلیل نتایج

با توجه به برآورد پتانسیل روانگرایی در هر شبکه (شکل ۹) در نواحی شمالی و جنوبی منطقه مورد بررسی شاخص پتانسیل روانگرایی صفر است و خطر روانگرایی این مناطق را تهدید نمی‌کند. دلیل این مسئله عمدتاً پایین بودن سطح آب زیرزمینی یا جنس لایه‌های تشکیل دهنده تحت‌الارض می‌باشد.

در نواحی مرکزی محدوده مورد بررسی شاخص پتانسیل روانگرایی غالباً کمتر از ۵ است در نتیجه خطر روانگرایی در این نواحی کم است. با اینحال، چنانکه در جدول (۱) ملاحظه می‌گردد، جهت احداث سازه‌های مهم بایستی مطالعات دقیق‌تر انجام پذیرد.

در تعدادی از شبکه‌هایی که در ناحیه شمال غربی و جنوب شرقی واقع شده‌اند شاخص پتانسیل روانگرایی بیش از ۵ و در شبکه‌های  $Q5$ ،  $R8$  و  $S8$  بیش از ۱۵ است. در این نواحی خطر روانگرایی زیاد است و لذا مطالعه دقیق برای انواع سازه‌ها لازم بوده و در صورت نیاز بایستی از روشهای کاهش مخاطرات روانگرایی استفاده گردد.

## جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله پتانسیل روانگرایی بخشی از محدوده جنوب شرق تهران مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل ۱). ابتدا منطقه مورد نظر به صورت نواحی ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر شبکه‌بندی گردیده سپس با تعیین پروفیل

ژئوتکنیکی نمونه در هر شبکه و شتاب سنگ بستر که براساس دوره بازگشت ۴۷۵ ساله و عمر مفید ۵۰ ساله برای زلزله‌ای به بزرگای ۷/۵ برآورد گردیده شتاب حداکثر سطح زمین محاسبه شده است.

نسبت تنش تناوبی (CSR) در اعماق مختلف با احتساب شتاب فوق‌الذکر و با استفاده از تنش‌های کل و موثر و همچنین ضریب کاهش تنش ( $r_d$ ) در هر عمق محاسبه شده و سپس با توجه به نمودار ارائه شده توسط سید و همکاران (۱۹۸۵) و تعیین نسبت مقاومت تناوبی (CRR) در همان عمق، ضریب اطمینان در برابر روانگرایی محاسبه شده است. در نهایت با استفاده از روش ایواساکی و همکاران پتانسیل روانگرایی در هر پروفیل ژئوتکنیکی بدست آمده است.

با توجه به برآورد پتانسیل روانگرایی در هر شبکه (شکل ۹) در نواحی شمالی و جنوبی منطقه مورد بررسی پتانسیل روانگرایی صفر است و خطر روانگرایی این مناطق را تهدید نمی‌کند. در نواحی مرکزی محدوده مورد بررسی خطر روانگرایی کم است ولی جهت احداث سازه‌های مهم بایستی مطالعات دقیق‌تر انجام پذیرد. در نهایت در برخی از نواحی شمال غربی و جنوب شرقی خطر روانگرایی زیاد می‌باشد و مطالعه دقیق در این مناطق برای انواع سازه‌ها لازم است.

## مراجع

- 1 – Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. and, Chung, R. M. (1985). "The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluation." *J. Geotech. Engrg., ASCE*, Vol.111, No. 12, PP.1425 -1445.
- 2 – Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. and Sato, H. (1982). "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, Proc.." *3<sup>rd</sup> Int. Conf. On Microzonation, Seattle*, Vol. 3, PP. 1319-1330.
- 3 – Seed, H. B. and Idriss, I. M. (1971). "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential." *J. Geotech. Engrg. Div. ASCE*, Vol. 97, No. 9. PP.1249 -1273.
- 4 – Seed, H. B. (1979). "Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes." *J. Geotech. Engrg. Div., ASCE*, Vol. 105, No. 2, PP. 201-255.

- 5 – Seed, H. B. and Idriss, I. M. (1982). "Ground motions and soil liquefaction during earthquakes." *Earthquake Engineering Research Institute Monograph Oakland, Calif.*
- 6 – Youd, T. L. and Idriss, I. M. eds. (1997). *Proc., NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Nat. Ctr. For Earthquake Engrg. Res., State Univ. of New York at Buffalo.*
- 7 – Youd, T. L. and Idriss, I. M. (2001). "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on evaluation of Liquefaction resistance of soils." *J. Geotech. And Geoenvironmental Engrg., ASCE, Vol. 127, No. 4, 297-3131.*
- 8 – *Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, Prepared by the Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering. TC4, Of the International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering.*
- ۹- بربریان، م.، قریشی، م.، ارژنگ روش، ب. و مهاجر اشجعی، ا. پژوهش و بررسی ژرف‌نو زمین‌ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه - گسلش در گستره تهران و پیرامون. سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۵۶، (۱۳۷۱).
- ۱۰- میرمحمدحسینی، م. و کاری، م. ریزپهنه‌بندی مقدماتی نواحی مستعد روانگرایی در شهر تهران. دومین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۴۰۹-۱۴۱۹، (۱۳۷۲).
- ۱۱- میرمحمدحسینی، م. ریزپهنه‌بندی جنوب شرقی تهران در برابر روانگرایی. برنامه ملی تحقیقات، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، (۱۳۸۱).
- ۱۲- میرمحمد حسینی، م.، کمک‌پناه، ع.، اسمعیلی، ع. م.، عارف‌پور، ب. و قاسمی، ا. ریزپهنه‌بندی جنوب شرقی تهران در برابر روانگرایی. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، (۱۳۷۸).
- ۱۳- جعفری، م. ک. و کشاورز بخشایش، م. بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی آبرفت‌های جنوب تهران. دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، (۱۳۸۰).
- ۱۴- اداره کل آب‌های زیرزمینی، وزارت آب و برق، واحد آب، بیلان آب زیرزمینی منطقه تهران (از ۴۵/۸/۱ تا ۴۸/۸/۱)، گزارش شماره ۴۴، (۱۳۴۸).
- ۱۵- امور مطالعات منابع آب، سازمان آب منطقه‌ای تهران، وزارت نیرو، نقشه تفاوت تراز آب ۳۲ ساله دشت تهران ۱۳۷۸-۱۳۴۶ نقشه شماره ۱۳۰، (۱۳۷۹).
- ۱۶- امور مطالعات منابع آب - نقشه‌های هم‌عمق آب زیرزمینی دشت تهران در سالهای ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۹.
- ۱۷- زارع، م. و کمالیان، م. مطالعات لرزه‌خیزی در ناحیه‌ای از جنوب تهران. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، گزارش داخلی.
- 18 – Annual book of ASTM Standards, *ASTM D 6066* .
- 19 – Soydemir, C. (1994). "Earthquake - induced settlements in silty sands for new england seismicity." *Geotechnical Special Publication No. 44, American Society of Civil Engineers.*

### واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Zone Transition
- 2 - Cyclic Resistant Ratio
- 3 - Cyclic Stress Ratio