طبقه‌بندی خاک بر اساس آیین‌نامه‌های استاندارد ۲۸۰۰، 1997 UBC، 2006 IBC و 2004 Eurocode 8 مطالعه موردی: خیابان پیروزی (منطقه ۱۳ تهران)

سیما هوشمند: دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
*سید محمود فاطمی عقدا: دانشگاه تربیت معلم، گروه زمین‌شناسی
سعید هاشمی طباطبایی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

تاریخ: دریافت ۹۰/۳/۷ **پذیرش** ۹۰/۶/۱۲

چکیده

منطقه بررسی شده در شرق تهران و در قسمت جنوب منطقهٔ ۱۳ شهرداری قرار دارد. با توجه به انبوه ساخت و ساز در شهر تهران و سرمایه‌گذاری‌های کلان در این راستا و نیز مسائلی مانند خطرپذیری این قسمت از شهر، شناخت ساخت‌گاه امری بسیار ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. بر این اساس، برآورد رفتار و طبقه‌بندی خاک، امری مؤثر در جهت ساخت و ساز بهینه است و موجب کاهش خسارات ناشی از زلزله و جنبش‌های شدید آتی زمین می‌شود. برای طبقه‌بندی خاک، از آیین‌نامه‌های مختلف نظیر استاندارد ۲۸۰۰ ایران، UBC، IBC و Eurocode 8، کمک گرفته شد. برای تعیین نوع خاک، ابتدا اطلاعات مربوط به سرعت موج برشی و آزمایش نفوذ استاندارد حاصل از پژوهش‌های لرزه‌ای و ژئوتکنیک در خیابان پیروزی جمع‌آوری گردید و سپس محاسبات مربوط به "میانگین سرعت موج برشی" برای محدودهٔ بررسی شده و "متوسط عدد نفوذ استاندارد" مطابق استاندارد ۲۸۰۰، UCB، ICB و Eurocode 8 انجام شد. بر اساس این استانداردها، خاک خیابان پیروزی به‌ترتیب در گروه II، S_C، C و B قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: آیین‌نامه Eurocode 8، استاندارد ۲۸۰۰ ایران، طبقه‌بندی خاک، میانگین سرعت موج لرزه‌ای، متوسط عدد نفوذ استاندارد.

*نویسنده مسئول

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

مقدمه

سازه‌های مهندسی صرف نظر از این که در سطح یا درون زمین احداث شوند به‌طور دائم از زمین و محیط اطراف آن تأثیر می‌پذیرند. از دیدگاه مهندسان ژئوتکنیک، تعیین شرایط موضعی زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی ساخت‌گاه و اثرات آن بر ویژگی‌های لرزه‌ای زمین و شناسایی پدیده‌های محلی خطرزا به‌هنگام زمین‌لرزه از جمله فعالیت‌هایی است که باید صورت پذیرد [۱].

پژوهش حاضر به‌منظور تعیین شرایط ژئوتکنیکی و طبقه‌بندی خاک با توجه به شرایط ساخت‌گاه بر اساس آیین‌نامه‌های استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۲]، UBC [۳]، IBC [٤] و Eurocode 8 [٦]، انجام شده است.

در استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۲]، مواد تشکل دهنده ساخت‌گاه و میانگین سرعت موج برشی، معیارهای گروه‌بندی خاک به‌شمار می‌آیند (جدول ۹) که در این میان، سرعت انتشار موج برشی، معیار کمّی گروه‌بندی ساخت‌گاه است و معیار دیگر، کیفی و توصیفی است و وابسته به نظر کارشناسی است.

در آیین‌نامه UBC (Uniform Building Code) [۳] و IBC (International Building Code)) [٤]، علاوه بر سرعت موج برشی و توصیف کلی پروفیل خاک، عدد نفوذ استاندارد، مقاومت برشی زه‌کشی نشده و شاخص خمیری نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌طوری که معمولاً با در دست داشتن یکی از ۳ مشخصهٔ سرعت موج برشی، مقاومت نفوذ استاندارد و مقاومت برشی زه‌کشی نشده، می‌توان خاک را طبقه‌بندی کرد (جدول ۱۰).

پارامترهای گروه‌بندی خاک در آیین‌نامه Eurocode 8 [٦] شامل توصیف چینه‌شناسی پروفیل، سرعت موج برشی، مقاومت نفوذ استاندارد و مقاومت برشی زه‌کشی نشده‌اند (جدول ۱۱).

در این استانداردها برای برآورد سرعت موج برشی در ساخت‌گاه‌های دارای لایه‌بندی با جنس و کیفیت‌های متفاوت، از رابطهٔ سرعت متوسط استفاده شده است و در این رابطه، لایه‌ها تا ژرفای۳۰ متری در نظر گرفته شده‌اند. در ساخت‌گاه بررسی شده، چاه‌های حفاری شد [۷].

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

برای ارزیابی ژئوتکنیکی پروژهٔ خط ٤ متروی تهران، دارای اطلاعات سرعت موج برشی و آزمایش نفوذ استاندارد است ولی فاقد نتایج آزمایش مقاومت برشی زه‌کشی نشده‌اند. بنا بر این گروه‌بندی نوع زمین ساخت‌گاه با توجه به اطلاعات مذکور در این خیابان صورت گرفت.

منطقه بررسی شده

خیابان پیروزی، در قسمت جنوبی منطقهٔ ۱۳ شهرداری تهران و بین طول جغرافیایی "۳۲ ٦٢°٥١ و "۳۰ '۳۰°٥١ و عرض جغرافیایی"٤١'٣٥ °٣٥ واقع شده است. ابتدا گزارش‌ها، مقاله‌ها و مراجع مرتبط با موضوعات موجود در ساخت‌گاه شامل اطلاعات زمین‌شناسی و نتایج حفاری‌های اکتشافی و داده‌های آزمایشگاهی گردآوری گردید. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی گستره بررسی شده و پراکندگی گمانه‌های دارای سرعت موج برشی را نشان می‌دهد. خیابان پیروزی بین میدان‌های شهدا (در غرب) و شهید کلاهدوز (در شرق) واقع شده است.

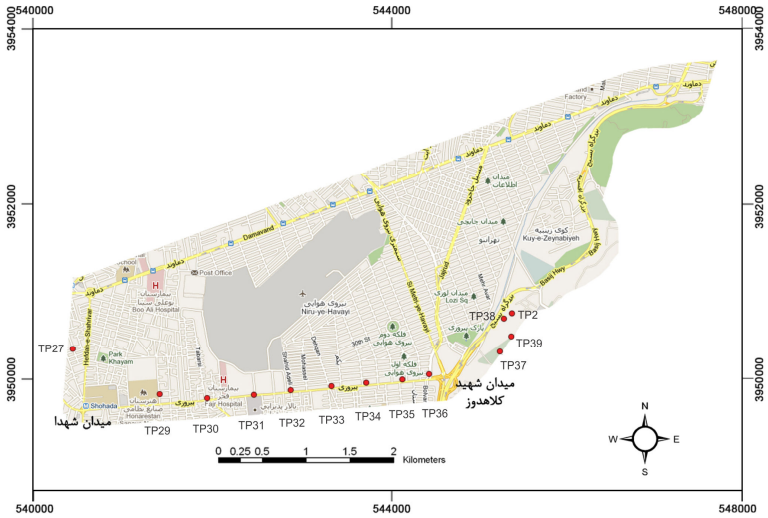
۱.مقاطع زمین‌شناسی زیرسطحی خیابان پیروزی

ابتدا مقاطع زمین‌شناسی زیرسطحی بر اساس اطلاعات لوگ چاه‌های محدودهٔ پروژه، تهیه و شرح داده شده است و سپس نتایج سرعت موج برشیِ گردآوری شده از گزارش‌های موجود، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است و بر اساس این نتایج، گروه‌بندی خاک طبق آئین‌نامه‌های مختلف اعمال گردیده است.

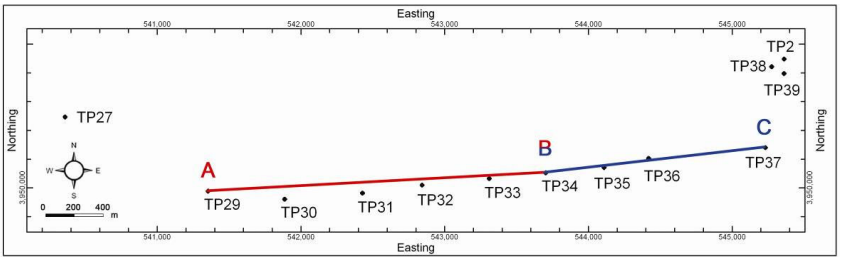
برای تهیه این مقاطع از نرم‌افزار "RockWorks 2006" استفاده گردید. با توجه به طول نسبتاً زیاد خیابان پیروزی، از دو مقطع A-B و B-C مطابق شکل ۲ برای نمایش خصوصیات ژئوتکنیکی زیرسطحی منطقه استفاده شد. شکل ۳ تغییرات جنس خاک از نظر ویژگی‌های مهندسی را در منطقهٔ بررسی شده نمایش می‌دهد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ بررسی شده و جانمایی چاه‌های دارای اطلاعات سرعت موج برشی که با دوایر قرمز مشخص گردیده است



شکل ۲. موقعیت مقاطع عرضی در منطقه

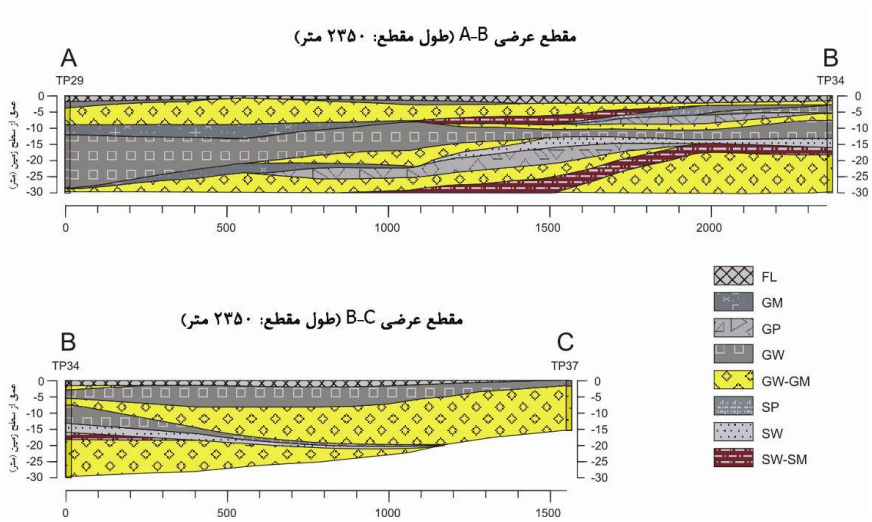
مقطع عرضی A-B

برای این پروفیل از غرب به شرق و به‌طول تقریبی ۲/٤km است و از چاه‌های TP29، TP30، TP31، TP32، TP33 و TP34 می‌گذرد. اختلاف ارتفاع بین بالاترین و پایین‌ترین نقطه در این مقطع، حدود ۲۰ متر است. در این مقطع، لایه‌ها دارای ضخامت‌های متغیرند. جنس غالب خاک نیز درشت‌دانه شنی و از نوع GW-GM، GW، GP، GM و به‌میزان کم‌تر ماسه‌ای (SW-SM، SW و SP) است. در این مقطع لایه‌ها از توالی یک‌سان برخوردار

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

نیست و در بخش میانی و شرقی به توالی لایه‌ها افزوده شده و از ضخامت‌شان کاسته می‌شود. جنس لایه‌ها در قسمت میانی مقطع از بالا به پایین شامل Fill Soil، GW-GM، SW-SM، GW، GW-GM، SW، GP، GW-GM و SW-SM است. در بخش غربی (TP27)، جنس لایه‌ها از بالا به پایین شامل Fill Soil، GW، GW-GM، GM و GW است. در قسمت شرقی (TP34) جنس لایه‌ها از بالا به پایین شامل Fill Soil، GW-GM، GW، GW-GM، GW، SW،SW-SM و GW-GM بوده و ضخامت غالب با GW-GM است. روی هم رفته، در بخش میانی مقطع، بیش‌ترین توالی لایه‌ها مشاهده می‌گردد که به سمت شرق و غرب از توالی آن‌ها کاسته شده است.



شکل ۳. مقاطع عرضی A-B (بالا) و B-C (پایین) در منطقه

مقطع عرضی B-C

برای این پروفیل از غرب به شرق و به‌طول تقریبی ۱.۵ km است و از چاه‌های TP34، TP35، TP36 و TP37 می‌گذرد. اختلاف ارتفاع بین بالاترین و پایین‌ترین نقطه در این مقطع، حدود ٤٠ متر است. در این مقطع، لایه‌ها دارای ضخامت‌های کمابیش یک‌دستی هستند. جنس غالب خاک نیز درشت‌دانه شنی و از نوع GW-GM و GW و به میزان کم‌تر ماسه‌ای

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

(SW-SM و SW) است. در این مقطع لایه‌ها از توالی یک‌سان برخوردار نبوده و در بخش غربی به توالی لایه‌ها افزوده شده و از ضخامت‌شان کاسته می‌شود. جنس لایه‌ها در قسمت میانی و شرقی مقطع از بالا به پایین شامل GW و GW-GM است و GW-GM بیش‌ترین ضخامت را تشکیل می‌دهد. لایه‌های مشابه در طول قسمت شرقی مقطع از ضخامت تقریباً یک‌سانی برخوردارند. در قسمت غربی (TP34) جنس لایه‌ها از بالا به پایین شامل Fill Soil، GW-GM، GW، GW-GM، GW، SW، SW-SM و GW-GM بوده و ضخامت غالب با GW-GM است.

۲. بررسی داده‌های سرعت موج برشی

دو شرکت برداشت‌های لرزه‌ای به روش درون چاهی را انجام داده‌اند.[۱] به‌این ترتیب که به عنوان مثال در چاه TP2، چشمهٔ لرزه‌ای روی سطح و در فاصلهٔ ٤.٨٥ متری از دهانهٔ چاه قرار داده شده است و گیرنده یا حس‌گر لرزه‌ای به نحوی داخل چاه کار گذاشته شده که از عمق به سطح، سرعت امواج را در فاصله‌های دو متر به دو متر دریافت و به دستگاه لرزه‌نگار ارسال می‌کند. به عبارتی در هر عمق، یک نگاشت موج تراکمی و موج برشی به‌دست می‌آید. در جدول ۱، سرعت امواج برشی ثبت شده نسبت به‌عمق برای چاه ۲ آورده شده است.

لازم به ذکر است اطلاعات لوگ مربوط به چاه‌های TP32، TP33، TP37، TP38 و TP39 برای رسم مقاطع عرضی مناسب بودند اما داده‌های سرعت موج برشی، عدد نفوذ استاندارد، دانسیتهٔ خشک و درصد رطوبت آن‌ها کامل نبود بنا بر این این چاه‌ها برای گروه‌بندی خاک استفاده نشدند.

مطابق جدول ۱، در چاه TP2 سرعت موج برشی در عمق ۸ متر از ۷۵۰ متر بر ثانیه تجاوز می‌کند. بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ [۲]، لایه‌ای که در آن سرعت موج برشی بیش از ۷۵۰ متر بر ثانیه باشد، سنگ بستر لرزه‌ای محسوب می‌شود (جدول ۹). اما در هیچ یک از چاه‌های دیگر (جداول ۲ تا ۸)، سرعت موج برشی بیش از ۷۵۰ متر بر ثانیه ثبت نگردیده است. به‌عبارتی، سنگ بستر لرزه‌ای در اعماقی بیش از عمق حفاری این چاه‌ها قرار دارد.

---

۱ . چاه TP2 توسط شرکت زمین‌آب‌پی [۸] و سایر چاه‌ها توسط شرکت پی‌سنگ [۷].

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

با توجه به جدول‌های ۱ تا ۸ (ضمیمه)، تغییرات سرعت موج برشی و دانسیته خشک نسبت به عمق از تطابق نسبتاً خوبی برخوردار است. به‌عبارتی اگر درصد رطوبت در اعماق مختلف تفاوت چندانی نداشته باشد، سرعت موج برشی تابع دانسیتهٔ خشک خاک می‌شود و با افزایش دانسیتهٔ خشک، سرعت موج برشی نیز افزایش می‌یابد. در شرایطی که دانسیتهٔ خشک در اعماق مختلف تفاوت چندانی پیدا نکند، سرعت موج برشی تابع درصد رطوبت خاک می‌شود در این حالت با افزایش درصد رطوبت خاک، از سرعت موج برشی کاسته می‌شود.

در بیش‌تر چاه‌ها، تغییرات سرعت موج برشی (Vs) قابل اطمینان است. لازم به ذکر است که در آیین‌نامه‌های استاندارد، گروه‌بندی خاک بر اساس سرعت موج برشی متوسط، تا عمق ۳۰ متر از سطح زمین در نظر گرفته شده است.

با توجه به جدول‌های مذکور، به‌دلیل دانه‌بندی غالباً خوبِ، خاک درشت‌دانه منطقه، زمین متراکم تا بسیار متراکم بوده و تعداد ضربات SPT در بیش‌تر مواقع از ۵۰ ضربه فراتر رفته است. هم‌چنین برای گروه‌بندی خاک با استفاده از میانگین مقاومت نفوذ استاندارد، از چاه‌های TP2، TP35، TP36 به‌دلیل عدم انجام آزمایش SPT در اعماق پایین‌تر از ۲۰ متر، استفاده نشده است.

گروه‌بندی خاک بر اساس استانداردهای ۲۸۰۰، 1997 UBC، 2006 IBC و 2004 Eurocode 8

۱. گروه‌بندی خاک بر اساس استاندارد ۲۸۰۰

گاه تنوع شرایط زمین‌شناسی ساخت‌گاه تا حدی است که کار گروه‌بندی را با مشکل مواجه می‌کند ولی با این حال با توجه به ویژگی‌های زمین ساخت‌گاه، گروه‌بندی خاک در قالب استاندارد ۲۸۰۰ انجام گرفته است (جدول ۹). در این آئین‌نامه [۲]، ساخت‌گاه‌ها به چهار گروه بر اساس مواد تشکیل‌دهنده‌شان تقسیم شده‌اند که معیاری توصیفی و کیفی به حساب می‌آید اما در این استاندارد، معیار دیگری با عنوان سرعت موج برشی، برای گروه‌بندی خاک‌ها آورده شده است که تنها معیار کمی گروه‌بندی است و بر اساس آن می‌توان گروه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

خاک را با دقت بهتری تعیین کرد.

جدول ۹. گروه‌بندی نوع زمین طبق استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۲]

نوع	مواد تشکیل‌دهندهٔ ساخت‌گاه	جامد تقریبی $\overline{V_s}$
I	الف) سنگ آذرین (با بافت درشت‌دانه و ریزدانه)، سنگ رسوبی سخت و بسیار مقاوم، سنگ دگرگونی	بیشتر از ۷۵۰
II	الف) سنگ آذرین سست (مانند توف)، سنگ سست رسوبی، سنگ دگرگونی متورق و به‌طور کلی	$۳۷۵ < \overline{V_s} < ۷۵۰$
III	الف) سنگ‌های متلاشی شده بر اثر هوازدگی	$۱۷۵ < \overline{V_s} < ۳۷۵$
IV	الف) نهشته‌های نرم با رطوبت زیاد بر اثر بالا بودن سطح آب زیرزمینی	کم‌تر از ۱۷۵

۲. گروه‌بندی خاک بر اساس استانداردهای 1997 UBC، 2006 IBC

بر اساس این استانداردها [۳]، [٤]، [۵] مطابق جدول ۱۰، ساخت‌گاه به شش کلاس گروه‌بندی می‌شود. گروه‌بندی این دو استاندارد بر اساس معیارهای سرعت موج برشی، عدد نفوذ استاندارد و یا مقاومت برشی زه‌کشی نشده صورت می‌گیرد. چنان‌چه سرعت موج برشی خاک معلوم نباشد، گروه ساخت‌گاه مطابق جدول ۱۰، بر اساس متوسط عدد نفوذ استاندارد و یا میانگین مقاومت برشی زه‌کشی نشده تعیین می‌شود. در این استانداردها توصیه شده است در صورت عدم اطمینان از نوع خاک، کلاس S_D انتخاب شود و کلاس S_E در صورتی انتخاب شود که ویژگی‌های آن طبق جدول ۱۰ در محل ساخت‌گاه اثبات شود. طبق آئین‌نامه 2006 IBC [٤]، چنان‌چه معیارهای عدد نفوذ استاندارد و مقاومت برشی زه‌کشی نشده برای یک ساخت‌گاه در یک کلاس قرار نگیرند، کلاس با خاک سست‌تر باید انتخاب شود (مثلاً S_E به جای S_D).

۳. گروه‌بندی خاک بر اساس استاندارد 2004 Eurocode 8

مطابق جدول ۱۱، نوع زمین بر اساس این استاندارد [٦] و با توجه به معیارهای چینه‌شناسی پروفیل، سرعت موج برشی، مقاومت نفوذ استاندارد و مقاومت برشی زه‌کشی نشده، به ۷ گروه تقسیم می‌شود. در این آیین‌نامه توصیه شده است که طبقه‌بندی ۵ گروه اول به‌غیر از توصیف چینه‌شناسی پروفیل، ابتدا باید بر اساس میانگین سرعت موج برشی تا عمق ۳۰ متر از سطح زمین باشد و در صورتی که اطلاعات آن موجود نبود، عدد نفوذ استاندارد برای گروه‌بندی استفاده گردد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

جدول ۱۰. گروه‌بندی نوع زمین طبق آئین‌نامه UBC 1997 و IBC 2006 (اقتباس از [٤])

کلاس ساخت‌گاه		نام پروفیل خاک	سرعت موج برشی، $\overline{V_S}$، (m/s)	عدد نفوذ استاندارد، $\overline{N}$ (یا $\overline{N}_{CH}$ برای لایه‌های خاک غیر چسبنده)، (blows/foot)	مقاومت برشی زه‌کشی نشده، $\overline{S_u}$، (kPa)
UBC	IBC				
S_A	A	سنگ سخت	> ۱۵۰۰	---	---
S_B	B	سنگ	۷٦۰ < $\overline{V_S}$ ≤ ۱۵۰۰	---	---
S_C	C	خاک بسیار متراکم و سنگ سست	۳٦۰ < $\overline{V_S}$ ≤ ۷٦۰	> ۵۰	> ۱۰۰
S_D	D	خاک سخت	۱۸۰ ≤ $\overline{V_S}$ ≤ ۳٦۰	۱۵ ≤ $\overline{N}$ ≤ ۵۰	۵۰ ≤ $\overline{S_u}$ ≤ ۱۰۰
S_E	E	خاک سست	< ۱۸۰	< ۱۵	< ۵۰
S_E	E	---	هر نوع خاک با ضخامت بیش از ۳.۰٤۸ متر و دارای خصوصیات: ۱. شاخص خمیری PI > ۲۰ ۲. درصد رطوبت w ≥ ٪٤۰ ۳. مقاومت برشی زه‌کشی نشده S_u < ۲٤ kPa		
S_F	F	---	هر نوع خاک که دارای یکی از ویژگی‌های زیر باشد: ۱. خاک‌هایی که تحت بارگذاری لرزه‌ای دچار خرابی و شکست شوند مانند خاک‌های روانگرا، رس‌های بسیار حساس و خاک‌های فروریزشی کم سمنته ۲. خاک‌های آلی و رس‌های بسیار آلی با ضخامت بیشتر از ۳.۰٤۸ متر ۳. رس‌های با پلاستیسیته بسیار زیاد (PI> ۷۵ در جایی‌که ضخامت رس بیش از ۷.٦۲ متر باشد) ٤. رس‌های نرم/متوسط/سخت با ضخامت بسیار (بیش از ۳٦.۵۸ متر)		

۱ft (فوت)= ۳۰.٤۸ cm

محاسبه میانگین سرعت موج برشی و متوسط عدد نفوذ استاندارد در خیابان پیروزی

بر اساس سرعت گسترش امواج برشی در ساخت‌گاه، می‌توان گروه‌بندی خاک را انجام داد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

جدول ۱۱. گروه‌بندی نوع زمین طبق آئین‌نامه 2004 Eurocode 8 [٦]

نوع زمین	توصیف چینه‌شناسی پروفیل	پارامترها		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (blows/30cm)	C_u (kpa)
A	سنگ یا دیگر سازندهای زمین‌شناسی مشابه سنگ، دارای حداکثر ۵ متر مواد ضعیف در سطح.	> ۸۰۰	--	--
B	نهشته‌های خیلی متراکم ماسه‌ای، شنی یا رس بسیار سخت، با ضخامت حداقل چند ده متر، با مشخصه افزایش خواص مکانیک با عمق.	۳٦۰ تا ۸۰۰	> ۵۰	۲۵۰ >
C	نهشته‌های عمیق متراکم یا تراکم متوسط ماسه‌ای، شنی یا رس سخت با ضخامت چندین ده متر تا صدها متر.	۱۸۰ تا ۳٦۰	۱۵ تا ۵۰	۷۰ تا ۲۵۰
D	نهشته‌های خاک غیرچسبنده سست تا متوسط (با یا بدون لایه‌های چسبنده سست)، یا به‌طور عمده خاک چسبنده سست تا سخت	< ۱۸۰	< ۱۵	< ۷۰
E	پروفیل خاک شامل یک لایهٔ آبرفتی سطحی با مقدار V_s مانند نوع C و D و ضخامت متغیر بین ۵ تا ۲۰ متر، با لایه‌ای از مواد سخت‌تر در زیر، با V_s بیش از ۸۰۰ متر بر ثانیه.			
S_1	نهشته‌های رسی/سیلتی سست (یا شامل لایه‌ای با حداقل ضخامت ۱۰ متر) با شاخص خمیری زیاد (PI> ٤۰) و درصد رطوبت زیاد	< ۱۰۰ (شاخص)	--	۱۰ تا ۲۰
S_2	نهشته‌های خاک‌های روانگرا، رس‌های حساس، یا هر پروفیل خاک دیگر که در زمره A تا E یا S_1 به حساب نیایند.			

استاندارد ۲۸۰۰ [۲]، 1997 UBC [۳]، 2006 IBC [٤] و 2004 Eurocode 8 [٦] استفاده از سرعت موج برشی متوسط تا عمق ۳۰ متر را برای گروه‌بندی خاک پیشنهاد کرده‌اند (رابطه ۱).

$$\overline{V_S} = \frac{\sum d_i}{\sum (d_i / V_{si})} \qquad (۱)$$

که در آن:

$\overline{V_S}$: سرعت موج برشی متوسط بر حسب متر بر ثانیه یا فوت بر ثانیه (با توجه به ضخامت لایه‌های مختلف و سرعت موج برشی در آن‌ها)

d_i: ضخامت لایهٔ i (بر حسب متر یا فوت)

V_{si}: سرعت موج برشی در لایه i (بر حسب متر بر ثانیه یا فوت بر ثانیه)

در این آیین‌نامه‌ها به‌استثنای استاندارد ۲۸۰۰ توصیه شده است چنان‌چه اطلاعات سرعت موج برشی خاک موجود نباشد، از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد برای گروه‌بندی خاک استفاده شود. با توجه به‌این‌که اصولاً زمین ساخت‌گاه، ناهمگن و دارای لایه‌بندی است، این آیین‌نامه‌ها

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

استفاده از مقاومت نفوذ استاندارد متوسط را مطابق رابطهٔ (۲) برای گروه‌بندی خاک پیشنهاد کرده‌اند. در صورتی که لایه‌های خاک غیرچسبنده (PI<۲۰) در پروفیل خاک وجود داشته باشد، آیین‌نامه‌های 1997 UBC [۳]، 2006 IBC [٤] استفاده از رابطG (۳) را توصیه می‌کنند.

$$\overline{N} = \frac{\sum d_i}{\sum (d_i / N_i)} \qquad (۲)$$

$$\overline{N}_{CH} = \frac{d_s}{\sum (d_i / N_i)} \qquad (۳)$$

که در آن:

$\overline{N}$: متوسط مقاومت نفوذ استاندارد صحرایی

$\overline{N}_{CH}$: مقاومت نفوذ استاندارد متوسط در لایه‌های خاک غیرچسبنده (PI< ۲۰)

N_i: مقاومت نفوذ استاندارد لایهٔ خاک (مطابق [۹]). در اندازه‌گیری مستقیم صحرایی و بدون اعمال تصحیحات، نباید میزان آن از ۱۰۰ ضربه در فوت (۳۰.٤۸ سانتی‌متر) تجاوز کند.

d_i: ضخامت لایه i (بر حسب متر یا فوت)

d_s: کل ضخامت لایه‌های خاک غیرچسبنده (PI< ۲۰) تا عمق ۳۰.٤۸ متر

گروه‌بندی خاک خیابان پیروزی بر اساس میانگین سرعت موج برشی ($\overline{V_S}$) و متوسط مقاومت نفوذ استاندارد ($\overline{N}$)، به ترتیب در جداول ۱۲ و ۱۳ آورده شده است.

توجه شود که بر اساس استانداردهای استفاده شده در این پژوهش، تعیین میانگین سرعت موج برشی و **متوسط** مقاومت نفوذ استاندارد، با توجه به فاصلهٔ سطح تا ۳۰ متری عمق زمین صورت گرفته است.

جدول ۱۲. گروه‌بندی خاک بر حسب میانگین سرعت موج برشی

شماره چاه	$\overline{V_S}$ (m/s)	گروه‌بندی نوع زمین طبق			
		استاندارد ۲۸۰۰ ایران	1997 UBC	2006 IBC	2004 Eurocode 8
TP2	بیش از ۷۹۳ m/s در عمق ۸ m	I	S_B	B	A
TP27	٤۷۵	II	S_C	C	B
TP29	٤۵۵	II	S_C	C	B
TP30	٤۳۷	II	S_C	C	B

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

TP31	٤٥٦	II	S_C	C	B
TP34	٤٢٧	II	S_C	C	B
TP35	٤٨١	II	S_C	C	B

مطابق جدول ۱۲ (گروه‌بندی خاک بر حسب میانگین سرعت موج برشی)، خاک خیابان پیروزی با توجه به استانداردهای فوق در یک گروه قرار می‌گیرد، به استثنا چاه TP2 که به‌دلیل داشتن سنگ بستر لرزه‌ای در عمق ۸ متری از سطح زمین، در گروه بالاتری نسبت به چاه‌های دیگر قرار می‌گیرد. با توجه به جدول ۱۳ (گروه‌بندی بر حسب متوسط مقاومت نفوذ استاندارد) نیز خاک منطقه در یک گروه دسته‌بندی می‌شود که با جدول ۱۲ تطابق دارد.

جدول ۱۳. گروه‌بندی خاک بر حسب متوسط مقاومت نفوذ استاندارد در زمین‌های دارای لایه‌های خاک غیرچسبنده (PI< ۲۰)

شماره چاه	$\overline{N}_{60}$	گروه‌بندی نوع زمین مطابق		
		1997	2006	2004
TP27	> ۵۰	S_C	C	B
TP29	> ۵۰	S_C	C	B
TP30	> ۵۰	S_C	C	B
TP31	> ۵۰	S_C	C	B
TP34	> ۵۰	S_C	C	B

نتیجه‌گیری

بر اساس اطلاعات موجود بر مبنای سرعت موج برشی متوسط در جدول ۱۲ و مقایسهٔ بین آیین‌نامه‌های مختلف می‌توان نتیجه گرفت خاک خیابان پیروزی معادل خاک گروه II استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۲] و یا معادل با خاک نوع S_c و C آیین‌نامه UBC 1997 [۳] و IBC 2006 [٤] و هم‌چنین خاک نوع B آیین‌نامه Eurocode 8 2004 [٦] قرار دارد.

هم‌چنین بر اساس داده‌های موجود در جدول ۱۳ که گروه‌بندی را بر مبنای متوسط مقاومت نفوذ استاندارد صحرایی انجام داده است، نتیجه گرفته می‌شود که خاک منطقه بررسی شده، معادل با خاک نوع S_c و C آیین‌نامه UBC 1997 [۳] و IBC 2006 [٤] و هم‌چنین معادل با خاک نوع B آیین‌نامه Eurocode 8 2004 [٦] است.

بر اساس مقایسهٔ بین چاه‌های مشترک در دو جدول ۱۲ و ۱۳ (چاه‌های TP27، TP29،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

TP30، TP31 و TP34) مشاهده می‌شود که نوع خاک در هر دو جدول، مشابه هم هستند بنا بر این با توجه به این‌که در آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۲]، استفاده از نتایج SPT برای گروه‌بندی خاک لحاظ نشده است، پیشنهاد می‌شود که متوسط مقاومت نفوذ استاندارد صحرایی ($\overline{N}$) و مقاومت نفوذ استاندارد متوسط در لایه‌های خاک غیر چسبنده ($\overline{N}_{CH}$) نیز مانند آیین‌نامه‌های UBC 1997، IBC 2006 و Eurocode 8 2004 در آیین‌نامهٔ استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۲] برای گروه‌بندی خاک وارد شود. اما برای رسیدن به یقین، لازم است تا تحقیقات بیش‌تری از این دست و با اطلاعات دقیق‌تر، بر روی نواحی مختلف تهران انجام گیرد.

پیوست‌ها:

جدول ۱: داده‌های لوگ ژئوتکنیکی TP2 به همراه نتایج سرعت موج برشی

TP No	Depth (m)	Soil Type	Depth of test and sampling (m)	SPT	γd (gr/cm3)	رطوبت	سرعت موج برشی
TP2	0-2	GW	2	>50	1.78	4.96	428
	2-5	GP	4	>50	1.78	5.96	555
			6	47	1.81	6.30	599
	5-7	SP	8	>50	1.85	4.85	793
			10	>50	1.87	5.06	890
	7-14	GW	12	>50	1.96	5.80	965
			14	>50	1.99	5.10	1211
	14-15	GP	15	>50	2.04	4.81	

جدول ۲: داده‌های لوگ ژئوتکنیکی TP27 به همراه نتایج سرعت موج برشی

TP No	Depth (m)	Soil Type	Depth of test and sampling (m)	SPT	γd (gr/cm3)	رطوبت	سرعت موج برشی
TP27	0-1	FL	3	>50	1.98	6.90	510
	1-8	GW	6	41	2.02	5.80	
			9	>50	1.92	5.50	460
	8-10	GW-GM	11	>50	1.84	6.30	420
			14		1.92	6.70	
	10-14	GM	17	43	2.10	5.80	495
			20	>50	1.89	5.50	505
	14-30	GW	24	>50	1.98	6.10	
			28	>50	1.86	6.70	508

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

جدول ۳: داده‌های لوگ ژئوتکنیکی TP29 به همراه نتایج سرعت موج برشی

TP No	Depth (m)	Soil Type	Depth of test and sampling (m)	SPT	γd (gr/cm^3)	رطوبت (٪)	سرعت موج برشی (m/s)
TP29	0-2	FL	2.5	>50	1.80	4.40	480
	2-4	GW	5	>50	2.02	5.10	
			8	>50	2.00	4.20	495
	4-9	GW-GM	11	>50	1.98	6.10	420
			14	>50	2.02	5.80	
	9-12	GM	17	>50	1.80	6.20	
			19.5	>50	2.01	5.90	450
	12-28	GW	20.5	>50	1.89	5.50	505
			23.5	>50	2.10	5.70	
	28-30	GW-GM	26.5	>50	2.02	6.20	
			29	>50	1.97	6.40	400

جدول ٤: داده‌های لوگ ژئوتکنیکی TP30 به همراه نتایج سرعت موج برشی

TP No	Depth (m)	Soil Type	Depth of test and sampling (m)	SPT	γd (gr/cm^3)	رطوبت (٪)	سرعت موج برشی (m/s)
TP30	0-1	FL	2	>50	2.04	4.90	458
	1-9	GW-GM	4.5	>50	2.01	5.10	
			8	>50	1.93	5.50	402
	9-13.5	GM	11	>50	2.14	4.50	
			14	>50	2.02	4.20	495
	13.5-21	GW	17	>50	1.90	5.10	
			19.5	>50	2.10	4.70	
	21-24	GM	22	>50	1.87	4.30	430
			25	>50	2.10	5.10	
	24-30	GW-GM	27.5	>50	2.20	4.60	
			30	>50	2.01	4.80	

جدول ۵: داده‌های لوگ ژئوتکنیکی TP31 به همراه نتایج سرعت موج برشی

TP No	Depth (m)	Soil Type	Depth of test and sampling (m)	SPT	γd (gr/cm^3)	رطوبت (٪)	سرعت موج برشی (m/s)
TP31	0-1.5	FL	3	>50	1.99	3.40	460
	1.5-3	GW	5			5.70	
	3-7.5	GW-GM	6.5	>50	2.01	2.00	501
	7.5-16.5	GW	9	>50	2.07	5.30	
			12	>50	2.09	5.40	485
	16.5-	GW-	15	>50	2.12	4.20	

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

TP No	Depth (m)	Soil Type	Depth of test and sampling (m)	SPT	γd (gr/cm^3)	رطوبت (٪)	سرعت موج برشی (m/s)
	21.5	GM	18.5	>50	1.98	6.10	
	21.5-25	GP	21	>50	2.01	5.80	420
			24	>50	2.03	4.90	
	25-30	GW-GM	27	>50	2.07	6.20	
			30	>50	2.20	6.80	476

جدول ٦: داده‌های لوگ ژئوتکنیکی TP34 به همراه نتایج سرعت موج برشی

TP No	Depth (m)	Soil Type	Depth of test and sampling (m)	SPT	γd (gr/cm^3)	رطوبت (٪)	سرعت موج برشی (m/s)
TP34	0-1.5	FL	2	>50	1.95	4.20	425
	1.5-2.5	GW-GM	4	>50	1.87	4.80	
	2.5-5.5	GW	7	>50	1.83	5.10	410
	5.5-8	GW-GM	9	>50	1.80	7.90	
	8-13.5	GW	11.5	>50	1.77	6.00	
	13.5-16	SW	15		1.89	5.70	450
	16-18.5	SW-SM	19	>50	2.01	6.20	
	18.5-30	GW-GM	22	>50	2.12	7.10	452
			26	>50	2.22	8.20	
			30		2.06	7.40	405

جدول ۷: داده‌های لوگ ژئوتکنیکی TP35 به همراه نتایج سرعت موج برشی

TP No	Depth (m)	Soil Type	Depth of test and sampling (m)	SPT	γd (gr/cm^3)	رطوبت (٪)	سرعت موج برشی (m/s)
TP35	0-1.5	FL	3	>50	2.01	5.78	423
	1.5-8	GW	6	>50	1.99	6.62	
	8-15	GW-GM	9	>50	2.12	5.62	497
			11				500
	15-16.5	SM	15	>50	2.22	11.2	
	16.5-18.5	SW	19	>50	2.18	8.60	562
	18.5-30	GW-GM	23		2.06	5.70	498
			27		2.09	6.20	

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]

جدول ۸: داده‌های لوگ ژئوتکنیکی TP36 به همراه نتایج سرعت موج برشی

TP No	Depth (m)	Soil Type	Depth of test and sampling (m)	SPT	γd (gr/cm^3)	رطوبت (٪)	سرعت موج برشی (m/s)
TP36	0-2	FL	3	37	1.97	6.20	440
			6	>50	1.90	4.80	
	2-8	GW	9	>50	2.14	4.20	490
			12	>50	1.74	5.5	430
			15	>50	1.98	6.84	
	8-24	GW-GM	18	42	2.02	12.6	560
			21	39	2.08	15.80	440

منابع

۱. م.ک. جعفری، و ا. اصغری، *ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای جنوب غربی تهران از دیدگاه اثرات ساختگاهی*، جلد دوم، مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۷٦).

۲. کمیته دائمی بازنگری آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، *آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد ۸٤-۲۸۰۰*، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸٦).

3. "International Conference of Building Officials", Uniform Building Code. Volume 2, Whittier, CA. (USA) (1997).

4. "ICC, International Code Council", Inc: 2006 International Building Code. (USA) (2006).

5. "International Conference of Building Officials", UBC-IBC structural (1997-2000): comparison & cross reference. Whittier, CA. (USA) (2000).

6. CEN, "European Committee for Standardization", Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, British Standards (UK) (2004).

۷. شرکت پی‌سنگ، *گزارش ژئوتکنیکی خط ٤ مترو تهران* (۱۳۸۱).

۸. شرکت زمین‌آب‌پی، *مطالعات ژئوتکنیک خط ٤ مترو تهران*، جلد سوم، مطالعات ژئوتکنیک و مهندسی پی پست برق افسریه (۱۳۸۷).

9. ASTM D 1586: "Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils", Standard No. 2800 (1999).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.1.6.1]