

OHN10107891242

مطالعات مهندسی پی و مقاومت مصالح طرح بهسازی لرزه ای پل بهشتی

سید علیرضا آشفته^۱

۱- کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
آدرس پست الکترونیکی: St_a_ashofteh@azad.ac.ir

خلاصه

پل بهشتی در تقاطع بزرگراه مدرس و خیابان بهشتی تهران واقع شده است. برای مطالعات ژئوتکنیک، گمانه به روش روتاری با مغزه گیری ممتد حفر شده و نمونه های لازم برداشت شده و آزمایش های مکانیک خاک مورد نظر انجام شده است. بعد از اتمام حفاری، این گمانه برای انجام آزمایش های لرزه ای آماده شده و آزمایش مذکور به روش سطح به گمانه (Downhole) انجام گردیده است. برای شناسایی وضعیت زیر سطحی زمین و تعیین پارامتر های ژئوتکنیکی و همچنین بررسی ظرفیت باربری مجاز زمین، مطالعات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک صورت گرفته است. اهداف عمده مطالعات حاضر به شرح زیر بوده است:

- بررسی وضعیت تحت الارضی و لایه بندی زمین
- تعیین عمق آب زیرزمینی
- تعیین خصوصیات مکانیکی و دینامیکی لایه های زمین
- تعیین سرعت موج برشی در لایه های خاک
- بررسی نوع زمین از نظر مهندسی زلزله
- تعیین ظرفیت باربری و مقاومت مجاز پی

کلمات کلیدی: پل بهشتی، مهندسی پی، بهسازی لرزه ای، مقاومت مصالح، مطالعات ژئوتکنیک

۱. مقدمه

برای انجام مطالعات ژئوتکنیک این طرح، ۱ گمانه ۲۰ متری به روش دورانی حفاری گردید. در حین حفاری، آزمایش ضربه و نفوذ مخروط استاندارد (SPT) انجام شده است. همچنین این گمانه برای انجام آزمایش های لرزه ای آماده سازی شده و آزمایش های لرزه ای به روش سطح به گمانه (Down hole) جهت تعیین پارامتر های دینامیکی لایه های زمین انجام گردیده است. بر روی نمونه های برداشت شده از گمانه ها آزمایش های دانه بندی، حدود اتربرگ، تعیین G_s ، برش مستقیم، سه محوری و آزمایش های شیمیایی خاک انجام یافته است.

۲. وضعیت زمین شناسی طرح

بر اساس تقسیم بندی (نبوی ۱۳۵۵)، منطقه مورد مطالعه در زون البرز - آذربایجان واقع شده است. این زون حوادث زیادی را پشت سر گذاشته که آثار آن از پرکامبرین تا به امروز قابل مشاهده است. بررسی نهشته های آبرفتی گستره تهران و پیرامون، تاثیر دو فاز کوهزایی بر روی آنها را نشان می دهد. در فاز اول کوهزایی، نهشته های آبرفتی سری A بشدت چین خورده است. به نظر می رسد که محدوده مورد مطالعه در رسوبات سری A واقع شده است. نهشته های آبرفتی کهن در سازند A اساساً شامل کنگلومرا هایی با چند عدسی سنگ ماسه، سنگ سیلت و گِل سنگ بوده و به لحاظ چینه بندی های منظم، لایه های نسبتاً نازک، آوار های کوچک و مراحل پیشرفته تجزیه مواد تشکیل دهنده، قابل تشخیص می باشد. سیمانی شدن کربنات ها در این سازند، در مقایسه با سایر واحد های جوان تر، به خوبی صورت گرفته که منجر به صلابت مکانیکی نسبتاً بالاتر این سازند شده است. سنگ های آواری تقریباً به طور کامل از مواد واریزه ای آتشفشانی و سنگ های آتشفشانی مربوط به دوره ائوسن تشکیل شده که از زمین های مرتفع شمالی

^۱ کارشناس ارشد در امور ژئوتکنیک و ژئوفیزیک

اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی
۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

برگرفته شده‌اند. اندازه متوسط دانه های این سنگ های آواری در محدوده قلوه سنگ (۱۰ الی ۲۵ سانتیمتر) است. این سنگ ها رنگ خاکستری روشن و ظاهری مانند گچ دارند. ضخامت این سازند در حدود ۱۲۰۰ متر است. سیمان شدگی نسبتاً گسترده، تراکم زیاد و حضور ماتریس ریزدانه سازند A را به صورت واحد سنگی غیر قابل نفوذ در قیاس با سایر نهشته های آبرفتی منطقه تهران در آورده است. بر اساس همبستگی چینه شناسی با سایر بخش های فلات ایران، سازند A به دوران پلیوسن تعلق دارد. سازند A در شمال خاوری و خاور تهران بر روی سازند قرمز رنگ (میوسن) بالایی قرار گرفته است. با این حال در چند مکان از جنوب دشت تهران، این سازند بر روی سنگ های آتشفشانی مربوط به دوره ائوسن قرار گرفته است. سازند A در هنگام نخستین حرکات زمین ساختی دوره کواترنر، چین خورد و گسلش یافت و در نتیجه موجب تماس های غیر قابل انطباق سازند B با نهشته های کواترنری جوان تر گردید. از این رو شیب تند حاصله (در برخی جاها تا ۹۰ درجه) ویژگی تشخیص سازند A است.

۳. وضعیت لرزه خیزی و زمین ساخت منطقه

حداکثر در محل مورد مطالعه چندین گسل لرزه زا وجود دارد که در گذشته نیز مسبب زلزله هایی بوده اند، مهمترین گسل های نزدیک به منطقه عبارتند از: راندگی نیاوران، راندگی شمال تهران، گسل شمال ری، گسله امامزاده داوود، گسل جنوب ری، گسل کهریزک و از گسل های فرعی می توان به گسل نارمک (حدود ۵/۴ کیلومتر از محل مورد مطالعه)، گسل عباس آباد (حدود ۵/۲ کیلومتر از محل مورد مطالعه)، گسل شیان (حدود ۶/۴ کیلومتر از محل مورد مطالعه)، گسله دواوودیه (حدود ۸/۲ کیلومتر از محل مورد مطالعه)، گسل کوثر (حدود ۱۰/۵ کیلومتر از محل مورد مطالعه)، گسل قصر فیروزه (حدود ۷ کیلومتر از محل مورد مطالعه)، گسل پارچین (حدود ۱۶/۲ کیلومتر از محل مورد مطالعه) و گسل بورکان (حدود ۲۰/۷ کیلومتر از محل مورد مطالعه) را نام برد. بر اساس آئین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله (آئین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم)، ایران به چهار پهنه با خطر نسبی بسیار بالا، بالا، متوسط و پائین تقسیم می شود. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه در حد پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد قرار گرفته است، لذا شتاب مبنای طرح آن ۰/۳۵g خواهد بود.

۴. وضعیت زیر سطحی محدوده مورد مطالعه

با توجه به لاگ گمانه حفاری شده، لایه های زیر سطحی شامل لایه های آبرفتی درشت دانه از جنس شن و ماسه همراه با ریزدانه های رسی و سیلتی می باشد. به صورت کلی بر اساس نتایج آزمایشات دانه بندی این لایه ها بیشتر به صورت GM ، GC یا SC شناسایی شده اند. بر اساس شواهد موجود تا عمق ۰/۵ متری از آسفالت و خاک دستی تشکیل شده است. مواد ریزدانه این لایه ها بطور متوسط در حدود ۱۹ درصد می باشد. در گمانه حفاری شده به آب زیرزمینی برخورد نشده است. بر اساس نقشه آبهای زیرزمینی تهران در این محدوده عمق آب زیرزمینی بیش از ۶۰ متر است.



۵. بررسی نتایج آزمایش های ضربه و نفوذ استاندارد (SPT)

این آزمایش از رایج ترین آزمایش های درجا جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی لایه های زمین است. نتایج آزمایش های SPT در لوگ گمانه ها نشان داده شده است. مقادیر عدد SPT بسیار بالا بوده، به نحوی که در همه موارد تعداد ضربات SPT قبل از رسیدن به نفوذ استاندارد از

اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
 دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی
 ۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

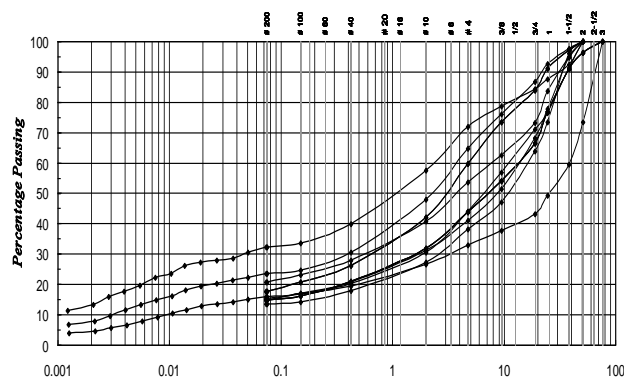
۵۰ ضربه بیشتر شده است. اگر چه در خاک های شن دار آزمایش *SPT* چندان موفقیت آمیز نیست، ولی بالا بودن همه نتایج حاکی از تراکم بالای رسوبات است. بر اساس تقسیم بندی ترزاقی، لایه های موجود در وضعیت خیلی متراکم قرار دارند.

جدول ۱- تقسیم بندی خاکهای دانه ای بر اساس عدد *SPT* (ترزاقی ۱۹۴۳)

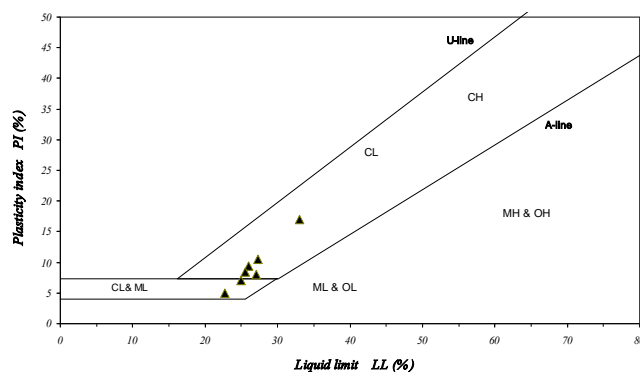
عدد <i>SPT</i>	وضعیت خاک	
4-10	Loose	سست
10-30	Medium dense	تراکم متوسط
30-50	Dense	متراکم
>50	Very dense	خیلی متراکم

۶. نتایج آزمون های آزمایشگاهی {۱}
 ۱.۶. آزمایش های شناسایی خاک

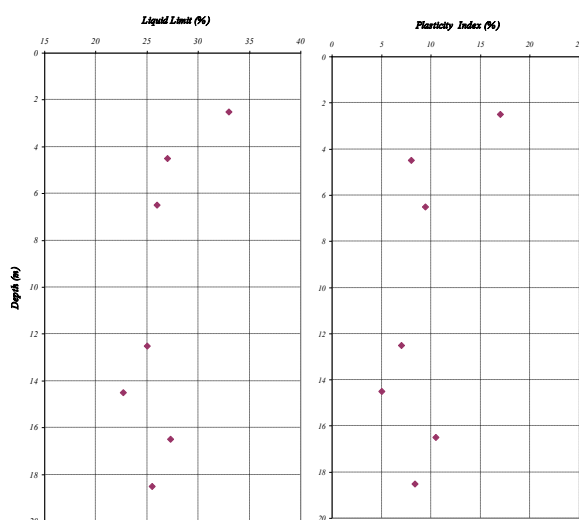
آزمایش های شناسایی خاک شامل آزمایش های دانه بندی، هیدرومتری و حدود اتربرگ برای طبقه بندی خاک می باشد. دامنه اندازه ذرات موجود در خاک و توزیع وزنی آنها بر حسب درصدی از وزن خشک کل خاک توسط آزمایش دانه بندی تعیین می گردد. دو روش برای تعیین منحنی دانه بندی مورد استفاده قرار می گیرد. این دو روش عبارتند از آزمایش دانه بندی برای ذراتی با قطر بزرگتر از ۰/۰۷۵ میلیمتر و آزمایش هیدرومتری برای ذراتی با قطر کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلیمتر. آزمایش دانه بندی بر مبنای استاندارد *ASTM D-۴۲۲* انجام گرفته و در آن نمونه خاک خشک شده بر روی یک سری الک استاندارد که اندازه های آن از بالا به پایین کاهش می یابد، لرزانده می شود. سپس وزن خاک هایی که روی هر یک از الک ها باقیمانده اندازه گیری می شود. نتایج آزمایش دانه بندی معمولاً بر حسب درصد وزنی عبوری از هر الک بر روی نمودار بیان می شود. در آزمایش هیدرومتری بر پایه اختلاف سرعت ته نشینی دانه های خاک در آب بر مبنای قانون استوکس، قطر ذرات معلق محاسبه می شود. طبقه بندی خاک با استفاده از نتایج آزمایش دانه بندی و حدود اتربرگ انجام می گیرد. میزان رطوبت و خواص کانی های ریزدانه خاک سبب ایجاد حالت جامد، نیمه جامد، خمیری و مایع می شود. میزان رطوبت در نقطه انتقال از وضعیت نیمه جامد به وضعیت خمیری، حد خمیری و از وضعیت خمیری به وضعیت مایع حد مایع یا حد روانی نامیده می شود. اختلاف بین حد روانی و حد خمیری یک خاک، شاخص پلاستیسیته (*PI*) نامیده می شود که نشانگر میزان خاصیت پلاستیسیته یک خاک مشخص می باشد. آزمایش های دانه بندی و حدود اتربرگ روی نمونه های مأخوذه از اعماق مختلف گمانه انجام گردیده و منحنی های مربوطه ارائه شده است. محدوده دانه بندی خاک منطقه مورد مطالعه در شکل (۲) ارائه شده است. طبقه بندی خاک محل در نظام متحد (یونیفاید) عمدتاً از نوع شن و در برخی موارد ماسه همراه با ریز دانه های رسی و سیلتی می باشد. حد روانی و شاخص پلاستیسیته این لایه ها در نمودار کاساگرانده در شکل (۳) و تغییرات آنها با عمق در شکل (۴) نشان داده شده است. شاخص پلاستیسیته این لایه ها در محدوده ۵ تا ۱۷ درصد بوده که در محدوده خاک های با پلاستیسیته کم قرار می گیرد. همچنین، حد روانی لایه ها در محدوده ۲۳ تا ۳۳ درصد بدست آمده است.



شکل ۲: محدوده دانه بندی خاک های محدوده طرح



شکل ۳: خواص خمیری خاک منطقه در نمودار کاساگرانده



شکل ۴: تغییر حدروانی و نشانه خمیری بر حسب عمق

۲.۶. نتایج آزمایش های تعیین چگالی ویژه دانه های جامد خاک

آزمایش های تعیین چگالی ویژه دانه های جامد خاک (G_s) بر روی نمونه های ماخوذه از گمانه انجام شد و مشاهده می شود که چگالی دانه های خاک ۲/۶۵ تا ۲/۶۹ بدست آمده است.

۳.۶. نتایج آزمایش های برش مستقیم

کلیه شکل ها آزمایش های برش مستقیم بر روی نمونه های بازسازی شده بر اساس وزن مخصوص طبیعی نمونه ها در شرایط اشباع با سرعت برش کند انجام شده است. این آزمایش ها بر روی نمونه های ۱۰٪*۱۰ سانیمتر انجام گردیده است. نتایج آزمایش های مذکور در جدول (۲) ارائه شده است. مشاهده می شود که مقدار چسبندگی (C) نمونه ها بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۴ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بوده و مقدار زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) در حدود ۳۷ درجه قرار دارد.

جدول ۲- نتایج آزمایش های برش مستقیم روی نمونه های بازسازی شده

Borehole	Depth (m)	USCS	γ_d (gr/cm ³)	C (kg/cm ²)	ϕ (deg.)	Shear speed
BH-1	6.0-7.0	GC	1.75	0.04	37.5	Slow
	11.0-12.0	GM	1.78	0.03	37.0	Slow
	16.0-17.0	GC	1.81	0.04	36.7	Slow

۴.۶. نتایج آزمایش های سه محوری

آزمایش های سه محوری در حالت CU بر روی نمونه های بازسازی شده بر اساس وزن مخصوص طبیعی نمونه ها در شرایط اشباع انجام گرفته که نتایج آزمایش های مذکور در جدول (۳) ارائه شده است. مشاهده می شود که مقدار چسبندگی (c) در حدود ۰/۱۲ تا ۰/۱۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و مقدار زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) بین ۲۹ تا ۳۳ درجه بدست آمده است.

جدول ۳- نتایج آزمایش های برش مستقیم روی نمونه های بازسازی شده

Borehole	Depth (m)	USCS	γ_d (gr/cm ³)	Cu (kg/cm ²)	ϕ_u (deg.)	Type of test
BH-1	4.0-5.0	SC	1.75	0.15	29.1	CU
	8.0-9.0	GM	1.77	0.12	33.0	CU
	10.0-11.0	GM	1.78	0.14	32.5	CU

۵.۶. آزمایش های تجزیه شیمیایی خاک

مواد شیمیایی مضر خاک می توانند بر روی سازه های بتنی مدفون در خاک اثرات مخربی داشته باشند که این اثرات می تواند در طی زمان طولانی مشکلاتی را برای آنها بوجود آورد. آزمایش های تجزیه شیمیایی بر روی ۲ نمونه خاک انجام شده است و نتایج آن در جدول (۴) ارائه گردیده است. طبق آزمایش های انجام شده مقدار سولفات موجود در خاک بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۶ درصد و مقدار یون کلر نیز ۰/۰۱۸ تا ۰/۰۲۲ درصد بدست آمده است. مقدار ph نمونه های خاک مورد آزمایش نیز در محدوده ۸/۶ تا ۸/۸ اندازه گیری شده است. با توجه به مقدار سولفات موجود در خاک، شرایط خاک در هر دو گمانه جزء شرایط ملایم می باشد.

جدول ۴- نتایج آزمایش های تجزیه شیمیایی نمونه های خاک

چاهک	Depth	آزمایش			
		pH	CL ⁻ %	SO ₄ ⁻² %	Organic Material%
BH-1	4.0-5.0	8.8	0.018	0.05	0.48
	8.0-9.0	8.6	0.022	0.06	0.19

۶.۶. نتایج آزمایش های لرزه ای {۲}

شناخت کامل وضعیت لایه های زیر سطحی و مشخصات دینامیکی لایه های خاک از عوامل مهم در تحلیل دینامیکی یک سازه می باشد. به منظور تکمیل اطلاعات ژئوتکنیکی و لزوم ارزیابی پارامتر های دینامیکی لایه های زمین جهت تحلیل دینامیکی، آزمایش های لرزه ای درون گمانه ای با استفاده از امواج تراکمی و برشی انجام یافته است. جهت انجام این مطالعات از وسایل و تجهیزات زیر استفاده شده است: الف- دستگاه لرزه نگار $ABEM RAS24$ ب- ژئوفون های سه و شش مولفه ای ج- پتک، الوار و ورق برای تولید امواج تراکمی و برشی د- نوت بوک $Dell latitude$. روش های لرزه ای بر مبنای انتشار امواج مکانیکی در یک محیط الاستیک استوار هستند. موج تولید شده توسط چشمه لرزه ای (نظیر ضربه چکش) به گیرنده امواج (ژئوفون) می رسد و سپس توسط دستگاه لرزه نگار تقویت و ثبت می شود. بر اساس جهت حرکت موج در داخل زمین دو نوع موج در پروژه های مهندسی بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. امواج تراکمی یا طولی ($Longitudinal$) که جهت حرکت ذره در جهت انتشار موج است. امواج برشی یا عرضی ($Shear$) که حرکت ذره عمود بر جهت انتشار موج است. با در دست داشتن سرعت امواج تراکمی و سرعت امواج برشی و همچنین چگالی محیط انتشار می توان مدول های دینامیکی لایه های خاک را محاسبه نمود. انرژی لازم برای تولید امواج تراکمی یا P ، ضربه قائم چکش بر یک صفحه بوده است. برای تولید امواج برشی یا S از ضربه پتک به دو سر یک میز مخصوص تولید امواج برشی که عمود بر خط واصل بین وسط میز و مرکز دهانه گمانه قرار داده می شد، استفاده گردیده است. چون در روش های لرزه ای درون گمانه ای امواج به صورت تقریباً مستقیم از چشمه به گیرنده می رسند بنابراین از دقت بیشتری نسبت به روش های سطحی برخوردار هستند. با توجه به موقعیت فرستنده و گیرنده روش های درون

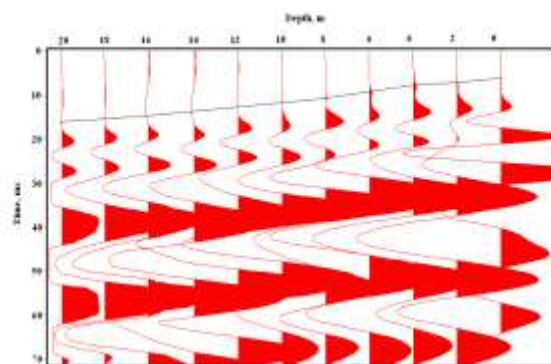
اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
 دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی
 ۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

گمانه‌ای خود به روش های زیر تقسیم می‌شوند: الف- روش سطح به گمانه (Down hole) ب- روش گمانه به سطح (Up hole) ج- روش چاه پیمایی (logging) د- روش پروفیل قائم لرزه‌ای (Vertical Seismic Profiling)

جدول ۵- سرعت امواج تراکمی و برشی و پارامترهای دینامیکی آزمایش های لرزه‌ای در گمانه

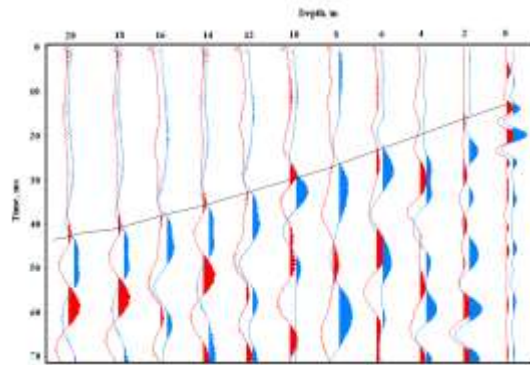
عمق	چگالی	سرعت موج طولی (VP)	سرعت موج برشی (VS)	مدول یانگ	مدول برشی	مدول بالک	ضریب پواسون
m	gr/cm ³	m/sec	m/sec	Mpa	Mpa	Mpa	
0-1	1.7	385	100	50	17	229	0.46
1-2	1.85	580	250	320	116	468	0.39
2-4	1.9	890	337	611	216	1217	0.42
4-6	1.9	1250	500	1335	475	2335	0.40
6-8	1.9	1000	535	1413	544	1175	0.30
8-10	2	1270	650	2235	845	2099	0.32
10-12	2	1310	750	2826	1125	1932	0.26
12-14	2	1370	795	3150	1264	2068	0.25
14-16	2	1450	850	3578	1445	2278	0.24
16-20	2	1497	900	3943	1620	2322	0.22

در تمام پروژه ها و طرح های عمرانی، ویژگی و خصوصیتی که به مهندسین دید لازم را جهت طراحی سازه می‌دهد، مدول های الاستیک دینامیکی مواد تشکیل دهنده محدودده ای است که سازه بر روی آن اجرا خواهد شد. سرعت موج در تشکیلات مختلف متفاوت بوده و تابعی از جنس، چگالی، تخلخل، محتوای آب و در مجموع ویژگی های الاستیک محیطی است که موج در آن منتشر می‌شود. آزمایش های لرزه‌ای به روش Downhole در گمانه حفاری شده انجام یافته است. برای تعیین سرعت امواج طولی، چشمه لرزه ای موج P (ضربه قائم پتک بر روی ورق فلزی) در فاصله ۲/۵ متری از دهانه گمانه قرار داده شد و گیرنده امواج (ژئوفون درون چاهی) تمام عمق مفید گمانه را ۱۱ ز سطح تا عمق مورد نظر جاروب کرد. برای تعیین سرعت امواج برشی، چشمه لرزه‌ای موج S (ضربه افقی پتک بر پهلو میز فلزی) در فاصله ۳ متری از دهانه گمانه قرار داده شد و گیرنده امواج (ژئوفون درون گمانه ای) تمام عمق مفید گمانه را جاروب کرده است. در شکل (۵) و (۶) نمونه‌هایی از نداشت های امواج طولی و برشی ثبت شده در این مطالعات ارائه شده است. در جدول (۵) مشخصات سرعت امواج طولی و برشی بدست آمده از آزمایش لرزه ای در گمانه ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده چند لایه فیزیکی بر اساس تغییرات سرعت امواج لرزه ای قابل تفکیک است. به طور کلی می‌توان گفت که مصالح تشکیل دهنده با افزایش عمق دانسیته افزایش می‌یابد و در نتیجه سرعت امواج لرزه ای افزایش می‌یابد. شایان ذکر است که در سطح تا عمق ۰/۵ متری از خاک دستی تشکیل شده است. مدول الاستیک یانگ (E) و مدول برشی (G) خاک و نسبت پواسون لایه های مختلف محاسبه و در جدول نشان داده شده است.

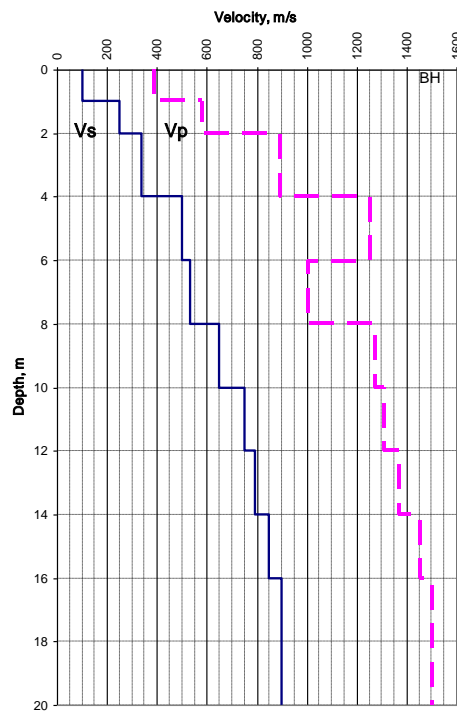


شکل (۶) نمونه ای از نداشت حاصل از ثبت امواج ط ی

اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
 دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی
 ۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲



شکل (۶) نمونه ای از نگاشت حاصل از ثبت امواج برشی



شکل (۷) منحنی تغییرات سرعت امواج p و s و برشی با عمق

آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله ایران موسوم به آئین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم به تقسیم بندی لایه های زمین با توجه به سرعت متوسط موج برشی تا عمق ۳۰ متری می پردازد. برای محاسبه سرعت متوسط موج برشی تا عمق $M = \sum_{i=1}^n T_i$ متری یعنی $V_S(M)$ از رابطه زیر استفاده گردیده است:

$$V_S(M) = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n \frac{T_i}{V_{Si}}}$$

که در آن T_i ضخامت لایه، V_{Si} سرعت امواج برشی لایه i ام و n تعداد لایه می باشد.

اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
 دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی
 ۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

سرعت متوسط موج برشی تا عمق ۲۰ متری ۴۶۸ متر بر ثانیه محاسبه شده است. با فرض ثابت بودن سرعت موج برشی از عمق ۲۰ تا ۳۰ متری، سرعت متوسط موج برشی تا عمق ۳۰ متری حدود ۵۵۷ متر بر ثانیه برآورد می‌گردد. بنابراین ساختگاه مورد مطالعه بر اساس آزمایش لرزه نگاری انجام شده در رده تیپ II قرار می‌گیرد.

۷. مهندسی پی {۳}

در این بخش ابتدا پارامترهای ژئوتکنیکی خاک پیشنهاد شده و سپس ظرفیت باربری برای پی‌های مختلف محاسبه گردیده است. با توجه به مقطع زیرسطحی و اطلاعات ارائه شده، لایه‌های زیرسطحی را با توجه به اثر عمق می‌توان به چند لایه کلی تقسیم کرد:

لایه‌های سطحی تا عمق حداکثر ۰/۵ متری که به صورت خاک‌های دستی شناسایی شده‌اند.

لایه‌های موجود در اعماق ۰/۵ تا ۱۰ متری که عموماً به صورت لایه‌های شنی همراه با ریزدانه‌های رسی و سیلتی شناسایی شده‌اند.

لایه‌های موجود در اعماق ۱۰ تا ۲۰ متری که به صورت لایه‌های شنی و گاهی به صورت لایه‌های ماسه‌ای همراه با ریزدانه‌های رسی و سیلتی شناسایی شده‌اند. در ادامه مشخصات ژئوتکنیکی لایه‌های خاک در دو لایه جداگانه تفکیک و در جدول (۶) ارائه شده‌اند. خاطر نشان می‌گردد که این مشخصات برای حالت بحرانی خاک و بر اساس آزمون‌های آزمایشگاهی و صحرایی، با در نظر گرفتن اثر سیمان‌تاسیون و در نهایت با استفاده از قضاوت مهندسی تعیین گردیده است. لازم به ذکر است در تحلیل‌های لرزه‌ای بنا بر پیشنهاد و سیک مقادیر زاویه اصطکاک داخلی ۲ درجه کمتر از حالت استاتیکی (جدول پارامترها) در نظر گرفته شده است.

جدول ۵- تقسیم بندی لایه‌های زمین و مقادیر پارامترهای ژئوتکنیکی

لایه (عمق) به متر	0 - 10 m	10 - 20 m
چسبندگی (Kg/cm ²)	$C_{CU} = 0.15 \sim 0.20$	$C_{CU} = 0.15 \sim 0.20$
(ϕ_{cu}) زاویه اصطکاک داخلی	28 ~ 30	30 ~ 32
وزن مخصوص خشک (gr/cm ³)	1.70 ~ 1.75	1.80 ~ 1.90
نسبت پواسون	0.35	0.30
مدول تغییر شکل (Kg/cm ²)	300 ~ 400	400 ~ 550

۱.۷. تعیین ظرفیت باربری مجاز پی بر اساس مقاومت برشی خاک

هنگامی که بر خاک‌ها نیروی برشی اعمال گردد، خاک تغییر شکل داده و با ازدیاد نیروی برشی، تغییر شکل نیز افزوده شده و در نهایت سبب گسیختگی خاک می‌شود. روابط مختلفی برای برآورد مقاومت نهایی زمین (Q_{ult}) ارائه شده که در اینجا از روش معتبر مایرهوف استفاده شده است. ظرفیت باربری مجاز پی، $q_{allow(net)}$ با در نظر گرفتن ضریب اطمینان (F_s) برابر ۳ از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$q_{allow(net)} = \frac{Q_{ult(net)}}{F_s}$$

۲.۷. برآورد میزان نشست پی

نشست کل پی برابر با مجموع نشست‌های آبی و تحکیمی است. نشست آبی قائم زیر پی که فشار یکنواختی را تحمل می‌کند و بر روی یک لایه همگن و ایزوتروپ نیمه بی‌نهایت و با رفتار خطی قرار دارد، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta H = q_0 B \frac{1 - \mu^2}{E'} \left(F_1 + \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} F_2 \right) I_F$$

اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی
۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

در اینجا برابر با فشار تماس، E مدول الاستیسیته و I_f ضریب پواسون است. I_f نیز ضریب تاثیر است با توجه به نوع خاک و عدم وجود آب در محل پروژه، نشست تحکیمی وجود نداشته و نشست کل معادل نشست آبی می باشد. خاطر نشان می شود نشست کل (معادل نشست آبی در این پروژه) باید به نشست مجاز محدود گردد

۸. نتیجه گیری

با توجه به گمانه حفاری شده، مصالح زیر سطحی شامل لایه های آبرفتی درشت دانه از جنس شن یا ماسه همراه با مواد ریزدانه می باشد. به صورت کلی بر اساس نتایج آزمایشات دانه بندی این لایه ها بیشتر به صورت GM ، GC یا SC طبقه بندی شده اند. مواد ریزدانه این لایه ها بطور متوسط در حدود ۱۹ درصد می باشد.

- ۱- ضخامت خاک دستی در محل حفاری شده حدود ۰/۵ متر می باشد و تا عمق ۲۰ متری حفاری شده، به آب زیرزمینی برخورد نشده است.
- ۲- اعداد SPT در گمانه حفاری شده بیش از ۵۰ ضربه بدست آمده است. لذا خاک محل دارای تراکم بسیار بالا می باشد.
- ۳- شاخص پلاستیسیته لایه های خاک در محدوده ۵ تا ۱۷ درصد بوده که در محدوده خاک های با پلاستیسیته کم قرار می گیرد. همچنین، حد روانی لایه ها در محدوده ۲۳ تا ۳۳ درصد بدست آمده است.
- ۴- بر اساس آزمایش های انجام شده چگالی ویژه ذرات خاک بین ۲/۶۵ تا ۲/۶۹ بدست آمده است.
- ۵- بر اساس نتایج آزمایشات برش مستقیم کند مقدار چسبندگی (c) نمونه ها بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۴ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده و مقدار زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) در حدود ۳۷ درجه است.
- ۶- بر مبنای نتایج آزمایشات سه محوری، در حالت تحکیم یافته زهکشی نشده مقدار چسبندگی (c) در حدود ۰/۱۲ تا ۰/۱۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و مقدار زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) بین ۲۹ تا ۳۳ درجه بدست آمده است.
- ۷- مقدار ضرایب فشار خاک در حالت های استاتیکی و دینامیکی در گزارش ارائه گردیده است.
- ۸- بر اساس آزمایش های لرزه ای انجام شده عمق سنگ کف لرزه ای در عمق ۱۲ متری می باشد.
- ۹- رده زمین زیر پی از نظر زلزله نوع II طبقه بندی می شود.
- ۱۰- منطقه مورد مطالعه در پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد قرار گرفته است، لذا شتاب مبنای طرح آن g ۰/۳۵ خواهد بود.
- ۱۱- با توجه به مقدار سولفات موجود در خاک، شرایط خاک جزء شرایط ملایم می باشد. از آنجائیکه شالوده در تماس با آب زیرزمینی قرار نمی گیرد، استفاده از سیمان معمولی بلامانع است. احتمال وقوع پدیده هایی مانند فروریزش خاک، تورم یا روانگرایی منتفی می باشد

۹. مراجع

1. Adib, A., & Ashofteh, A., *Geotechnical & Foundation Engineering Studies Of Additional Structures Of Phase 12 Of South Pars Gas(Tombak Region)*, *Journal of Basic and Applied Scientific Research(JBASR)(Thomson Reuters ISI indexed) ISSN 2090-4304 Vol. 3, No. 9, in September, 2013*
۲. سربع علی ضا آشفته، ادیب، ا.، ملکی، م. و طاهرلین، غ. (۱۳۹۲)، "تحلیلی خطر زمین لرزه و تطفی طراحی مصالحی امام خمینی (ره) تهران" همایش و نشست تخصصی مدیته شهری و توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر با همکاری شهرداری اسلامشهر، جزء ۲۰ مقاله برتر همایش
۳. سربع علی ضا آشفته، ادیب، ا.، ملکی، م. و شاکر منتظری، ن. (۱۳۹۲)، "مطالعات ژئوتکنیک و مهندسی پی سازه های جنین مجتمع فولاد قانات" همایش و نشست تخصصی مدیته شهری و توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر با همکاری شهرداری اسلامشهر، جزء ۲۰ مقاله برتر همایش