



ارزیابی ژئوتکنیکی آبرفت های مسیر خط ۲ قطار شهری اصفهان با تاکید بر آزمایش های برجا

آسیه علیدوستی شهرکی^۱، رسول اجل لویان^۲، علیرضا حاجیان^۳

۱- دانشجوی، ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه اصفهان

۲- استاد، گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

۳- استادیار، گروه فیزیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی

:

A_alidusti@yahoo.com

خلاصه

با افزایش جمعیت و توسعه شهرها نیاز به مدرن سازی و گسترش راههای ارتباطی برای صرفه جویی در وقت و هزینه امری اجتناب ناپذیر است. احداث مترو در نقاط مختلف شهر یکی از راه های کمک به این امر می باشد. از اولین اقدامات برای حفر تونل مترو بررسی زمین شناسی مهندسی و بررسی تحت الارضی منطقه ای است که تونل در آن حفر می شود. (۱)

در تحقیق پیش رو سعی بر آن است که ویژگی های زمین شناسی مهندسی منطقه و پارامترهای ژئوتکنیکی آبرفت های آن با استفاده از آزمایشات برجای پرسیومتری، نفوذ استاندارد (SPT) بررسی خواهند شد. آزمایشات صحرائی مورد بررسی در این پژوهش به جهات مختلف حائز اهمیت می باشند به طور مثال براساس اطلاعات حاصل از آزمایش نفوذ استاندارد می توان خصوصیات مهندسی خاک های چسبنده و غیر چسبنده را مورد ارزیابی قرار داد. این خصوصیات عبارتند از: مقاومت (زاویه اصطکاک داخلی) و تراکم نسبی خاک های ماسه ای، مقاومت فشاری و برشی خاک های رسی، تعیین نشست خاک در خاک های غیر چسبنده، تعیین ظرفیت باربری پی های سطحی و پی های عمیق در مورد آزمایش پرسیومتر از ویژگی های مهم آن ارتباطین خصوصیات مقاومتی و خصوصیات تغییر شکل پذیری خاک می باشد.

به بیان دیگر، یکی دیگر از نتایج آزمایش پرسیومتر، بدست آورد منحنی فشار- تغییر حجم است. برای ارتباط نتایج این آزمایش به پارامترهای خاک، تحلیل های زیادی انجام شده است. آزمایش لرزه نگاری درون چاهی Down Hole در ۱۰ گمانه که عمق آنها ۴۰ متر بوده، برداشت شده و نتایج آن با آزمایش نفوذ استاندارد و پرسیومتری منطبق شده است. در برداشت صحرائی آزمایش دانهول امواج الاستیک تراکمی P و برشی S، توسط چشمه انرژی مکانیکی از سطح به عمق گمانه منتشر می گردد با توجه به مقادیر سرعت و چگالی لایه های زمین در آنها، مقادیر نسبت پواسون و مدول های الاستیسیته برجا نیز تعیین شده است. (۲)

کلمات کلیدی: ارزیابی ژئوتکنیکی، خط ۲ قطار شهری اصفهان، آزمایش های برجا

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه اصفهان

^۲ استاد گروه علوم زمین دانشگاه اصفهان

^۳ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد



5th

پنجمین همایش بین‌المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک

International Conference on Geotechnical Engineering and Soil Mechanics

۲۵-۲۷ آبان ماه ۱۳۹۵ مرکز همایش‌های بین‌المللی برج میلاد تهران

November 15-17, 2016, Tehran, Iran

www.ICGESM2016.ir



انجمن ژئوتکنیک ایران

۱. مقدمه

امروزه به دلیل کمبود فضای کافی و تراکم شهری نیاز به استفاده بهینه از فضاهای زیر زمینی در کاهش ترافیک و سهولت در حمل و نقل نقش مهمی دارد (۱۰). مطالعات ژئوتکنیکی اولیه قبل از اجرای هرگونه عملیات سازه ای بسیار با اهمیت و ضروری است. این مطالعات در گام نخست به زمان بندی پروژه و پیش بینی هزینه ها و همچنین به بالا بردن ضریب اطمینان در حین اجرا و برنامه ریزی دقیق تر برای پیش برد پروژه کمک می کند. در این تحقیق با بررسی آزمایش های برجا و آزمون های آزمایشگاهی، هم به صورت تئوری و هم با استفاده از نرم افزار و مقایسه عملکرد و نتایج آنها، سعی بر آن است که بتوان راه حل مناسبی برای کاهش هزینه ها و انتخاب راه های زودبازده در بخش مطالعات ژئوتکنیکی سایر پروژه ها برگزید. در واقع با توجه به پارامترهای مورد نیاز در هر پروژه می توان نوع آزمایش های صحرائی و آزمایشگاهی را متناسب با آن پروژه پیش بینی نمود. مسیر خط ۲ قطار شهری اصفهان از میدان خمینی شهر شروع و با عبور از خیابان کهنه‌دژ و بلوار مدرس نجفی به دروازه دولت رسیده و با عبور از خیابان باغ گل‌دسته و آمادگاه وارد خیابان نشاط شده و بعد از عبور چهار راه حافظ و خیابان هاتف با عبور از زیرگذر میدان لاله وارد خیابان زینیه شده و در شهرک امام حسین پایان می‌یابد. طول مسیر در حدود بیست و چهار کیلومتر و شامل ۲۳ ایستگاه می‌باشد. استفاده از گزینه کانال باز (*Opencut*) در محدوده میدان شهدای خمینی شهر تا بلوار مدرس نجفی و گزینه زیرزمینی (*TBM*) از بلوار مدرس نجفی تا شهرک امام حسین در نظر گرفته شده است (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه شهری و ایستگاه‌های متروی خط ۲ اصفهان



– زمین شناسی مهندسی محدوده مورد مطالعه

از نظر زمین شناسی، در استان اصفهان توالی های گسترده از نهشته های رسوبی، سنگهای دگرگونی و آذرین با سن های گوناگون رخنمون دارد. محدوده مورد مطالعه در شمال رودخانه زاینده رود و در رسوبات دشت سیلابی واقع شده است. به طور کلی این رسوبات در لایه های سطحی زمین ریزدانه هستند و بافت غالب این رسوبات رس و لای بوده که سطح شهر اصفهان را در بسیاری قسمت ها پوشانیده است. این لایه با ضخامتی متغیر از جنوب رودخانه زاینده رود شروع شده و به طور کلی با حرکت به سمت شمال و غرب اصفهان بر ضخامت آن افزوده می شود.

لایه های رسوبات درشت دانه رودخانه ای شامل شن و ماسه و بعضا همراه با رس و سیلت است که در زیر رسوبات ریزدانه فوقانی قرار دارد. این لایه در بخش هایی از مسیر خط ۲ قطار شهری اصفهان که در فاصله نزدیک تری با رودخانه زاینده رود واقع می شود دارای ضخامت بیشتری است. از مشخصه های این رسوبات نفوذپذیری و آبگذری بالای آنها است به طوری که لایه آبدار منطقه را تشکیل داده است.

وجود عدسی هایی از ماسه ریزدانه یکتواخت (ماسه بادی) در میان رسوبات درشت دانه رودخانه ای یکی از نکات قابل توجه این لایه است. پدیده قابل ملاحظه دیگر در رسوبات درشت دانه رودخانه ای شهر اصفهان، میان لایه های دارای سیماناسیون موضعی (*Cemented Layer*) در برخی بخش ها می باشد که اصطلاحا سورد (جوش سنگ) نامیده می شود. ضخامت و حدود گسترش این لایه سیمانته شده در رسوبات درشت دانه رودخانه ای شهر اصفهان نامنظم بوده و نمی توان عمق و محدوده مشخصی را برای آن ذکر نمود. در اعماق پایینتر از رسوبات رودخانه ای مجددا با بخش ریزدانه ای مواجه می شویم که از مشخصات مهندسی این لایه شامل رس و لای همراه با اندکی درشت دانه و بعضا با پلاستیسیته بالا می باشد که در بخش هایی با رسوبات درشت دانه رودخانه ای درهم فرو رفته اند. این لایه در قسمت هایی از شهر اصفهان (غرب و شمال غرب) با رسوبات ریزدانه فوقانی یکی شده بطوریکه تفکیک آنها از یکدیگر مشکل می شود.

با توجه به عبور خط ۲ قطار شهری اصفهان از برخی مناطق شهری با بافت فرسوده، خاک دستی مشاهده شده در اعماق سطحی برخی از گمانه ها نیز قابل توجه است. تا عمق حفاری شده گمانه های مسیر خط ۲ به سنگ بستر برخورد نشده است، بنابراین در کل طول این مسیر، تونل و ایستگاه ها در سازندهای خاکی قرار خواهند گرفت. البته توجه به پراکندگی لایه سورد موجود در رسوبات درشت دانه رودخانه ای شهر اصفهان حائز اهمیت است.

– لایه های تشکیل دهنده ساختگاه

بر پایه تشریح نظری خاک گمانه های حفاری شده در طول مسیر و آزمایشات دانه بندی در برخی اعماق، پروفیل گمانه ها در اعماق تا ۵ متر و گاهای بیشتر، خاک دستی و رسوبات ریزدانه رس و لای که این لایه ریزدانه معمولا در سایر اعماق به صورت متناوب مشاهده شده، در اعماق تا ۱۰ الی ۱۵ متر عمدتا خاک از تناوب رسوبات ریزدانه ی فوقانی و درشت دانه رودخانه ای که ضخامت لایه رسوبات شن و ماسه رودخانه بستگی به موقعیت گمانه نسبت به رودخانه متغیر است. اعماق ۱۵ تا ۴۰ رسوبات درشت دانه رودخانه ای و رسوبات ریزدانه تحتانی در اعماق بیشتر دیده می شود.

آزمایشات برجا

تعیین پارامترهای مهندسی برجای مصالح به روش مستقیم و غیر مستقیم امکانپذیر است. روشهای مستقیم مبتنی بر اندازه گیری مستقیم پارامترها بوده که عمده آزمایشهای برجای ژئوتکنیکی از ایندسته هستند. روشهای غیر مستقیم مبتنی بر روشهای ژئوفیزیکی میباشد که پارامترها بصورت غیر مستقیم و با عبور امواج از داخل زمین تعیین میشود. آزمایش نفوذ استاندارد یکی از آزمایشهای برجا است که بدلیل سادگی و هزینه پایین استفاده از آن گسترش چشمگیری پیدا کرده است. آزمایش پرسو متری بدلیل ارائه منحنی تنش – کرنش و امکان بررسی رفتار خاک در حین آزمایش علیرغم هزینه نسبتا بالا و مشکلات حین انجام در حال گسترش است. در مقابل آزمایش



لرزه ای درون چاهی یکی از روشهای ژئوفیزیکی جهت تعیین پارامترهای تغییر شکل پذیری خاکها در محدوده کرنشهای برشی خیلی پایین است که به منظور تعیین پارامترهای دینامیکی خاک انجام میشود. در این مطالعه از نتایج آزمایشهای پرسومتری، نفوذ استاندارد و آزمایش لرزهای درون-چاهی انجام پذیرفته در ۷ گمانه اکتشافی حفاری شده در آبرفتهای ریزدانه شهر قم استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمایشهای ذکر شده با یکدیگر مقایسه و روابط تجربی بین آنها پیشنهاد شده است. (۵)

نفوذ استاندارد

آزمایش نفوذ استاندارد یکی از قدیمی ترین و معمول ترین آزمایشهای برجا در مطالعات اکتشافی خاکها می باشد. در سالهای اخیر با پیدایش تکنیک ها و فناوری های جدید جهت انجام این آزمایش ، محققان مختلف کوشیده اند تا همبستگی مناسبی بین مقادیر SPT اصلاح شده و پارامترهای مقاومتی خاک برقرار کنند. از نتایج این آزمایش برای محاسبه خواص مهم مهندسی خاکهای درشت دانه از قبیل زاویه اصطکاک داخلی ، دانسیته نسبی ، قابلیت باربری و نشست و در خاک های ریزدانه نیز می توان با استفاده از آن خواص مهندسی خاک های درشت دانه از قبیل مقاومت فشاری زهکشی نشده (qu) ، مقاومت برشی زهکشی نشده (Su) و ضریب تراکم پذیری حجمی (mv) را تعیین کرد. برای انجام این آزمایش از استاندارد ASTM-D1586 استفاده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده عدد SPT به غیر از سه گمانه که عدد SPT بین ۲۰ تا ۳۰ ضربه بوده (ریزدانه) ، بیشتر از ۵۰ ضربه به دست آمده است. بر اساس تقسیم بندی ترزاقی (جدول ۲) ، خاک های ریزدانه پروژه حاضر در محدوده خاک های سخت قرار دارند. در حالی که خاک های درشت دانه در محدوده خاک های خیلی متراکم قرار میگیرند.

گمانه	جنس	عمق (m)	SPT(N60)
BHS01	CL-ML	12	13
	MH	33	20
BHS02	CL	21	>60
	CH	30	14
BHS03	CL	21	40
	CL	33	15
BHS04	CL	19	27
	CH	30	28
BHS05	CL	21	17
	CL	30	12
BHS06	CL	21	55
	CL	30	16
BHS07	SM	27	20
	CL	36.5	7
BHS08	CL	9	20
	CL-ML	18	12
BHS09	CL	33.5	18
BHS10	CL	10	12
	CL	25	7



	ML	33	4
--	----	----	---

جدول ۱ - مقادیر میانگین عدد اصلاحی SPT

عدد SPT	وضعیت خاک	0-2	Very soft	خیلی نرم
4-10	Loose	2-6	Soft	نرم
10-30	Medium dense	6-15	Firm	سفت
30-50	Dense	15-30	Hard	سخت
>50	Very dense	>30	Very Hard	خیلی سخت

جدول ۲-ب خاکهای درشت دانه براساس عدد SPT

جدول ۲-الف خاکهای ریزدانه براساس عدد SPT

آزمایش پرسیمتری

آزمایش پرسیمتری یکی از آزمایشهای صحرایی در حوزه ژئوتکنیک است که برای شناسایی و ارزیابی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک کاربرد دارد از مزایای آزمایش پرسیمتری این است که شرایط نمونه خاک در محل تقریباً مشابه شرایط بارگذاری واقعی بوده و دست خوردگی کمی دارد. اساس کار بر انبساط یک استوانه بلند غشایی استوار است که در داخل گمانه قرار می گیرد به نحوی که می تواند تغییرات فشار وارده در برابر تغییر حجم (شعاع) غشاء را در حین پیشرفت آزمایش اندازه گیری کند. این آزمایش در داخل گمانه با استفاده از سوند (probe) استوانه ای شکل که می تواند به صورت شعاعی متورم شود، انجام می گیرد. با استفاده از این آزمایش می توان پارامترهای زیر را به دست آورد:

مدول تغییر شکل، مقاومت برشی زهکشی نشده برای رس ها و سنگهای ضعیف، مدول برشی، فشار حدی که برای مطالعات زمین شناسی مهندسی پروژه بیش از ۱۰۰ آزمایش پرسیمتری در رسوبات آبرفتی انجام شده است. مقدار مدول تغییر شکل (E) با توجه به روابط موجود محاسبه شده و نتایج در جدول ۲ برای ۳ محدوده عمق مختلف آورده شده است. (۱)



گمانه	جنس	عمق (m)	Earth Pressure at Rest P_0 (kg/cm ²)	Yield Pressure P_y (kg/cm ²)	Coefficient of Soil Reaction K_m (kg/cm ³)	Modulus of Elasticity E_s (kg/cm ²)	Shear Modulus G (kg/cm ²)	Mean Radius of K Value r_m (cm)
BHS01	CL-ML	12.6	1.21	2.96	11.81	69.77	26.83	4.55
	MH	35.5	4.2	3.37	18.23	110.23	41.44	4.55
BHS02	CL	19.5	2.36	4.98	38.01	226.29	87.03	4.58
	CH	29.5	4.02	4.73	32.47	177.81	66.85	4.12
BHS03	CL	19.5	2.52	5.76	42.53	250.38	94.13	4.43
	CL	31	4.53	5.84	33.03	196.77	75.68	4.98
BHS04	CL	19.5	2.88	4.85	29.86	190.75	71.71	4.8
	CH	30.5	4.14	9.1	22.94	129.21	48.57	4.24
BHS05	CL	19.5	3.39	7.73	42.09	255.97	96.23	4.57
	CL	29.8	3.99	7.63	26.76	179.77	67.58	5.05
BHS06	CL	19.5	3.08	8.89	50.84	324.79	122.1	4.8
	CL	30.5	4.59	6.75	26.02	156.06	58.67	4.51
BHS07	SM	25.5	3.48	5.86	17.25	123.59	46.46	5.39
	CL	36.5	4.1	6.75	24.13	148.06	55.66	4.61
BHS08	CL	9	1.26	2.88	21.21	130.94	49.22	4.64
	CL-ML	19	3.34	2.68	11.11	66.46	25.56	4.6
BHS09	CL	35.5	4.54	5.81	16.73	109.66	41.22	4.93
BHS10	CL	9	1.29	1.76	5.56	34.23	13.17	4.73
	CL	25.5	3.08	4.81	24	143.4	53.91	4.49
	ML	33.5	4.62	4.82	16.44	105.18	39.54	4.81

جدول ۳- مشخصات بدست آمده حاصل از آزمایش پرسویمتری

آزمایش لرزه نگاری درون چاهی دانهول

لرزه نگاری درون چاهی Down Hole شدر مسیر خط ۲ اصفهان در ۲۲ گمانه که عمق آنها ۴۰ متر بوده، برداشت شده که در همه ی آنها، فاصله عمقی نقاط اندازه گیری ۲ متر بوده است. در برداشت صحرائی امواج الاستیک تراکمی P و برشی S توسط چشمه انرژی مکانیکی از سطح به عمق گمانه منتشر می گردد (ضربات پتک قائم سنگین به زمین و ضربات افقی پتک به الوار) در نزدیکی دهانه گمانه ایجاد شده و پس از انتشار قائم در لایه های زمین، توسط گیرنده سه مولفه ای که در عمق مورد نظر در گمانه بوسیله پکر بادی ثابت شده، دریافت و در حافظه لرزه نگار ۲۴ کاناله، ثبت شده است. براساس مقادیر زمان انتشار امواج تراکمی و برشی که توسط لرزه



نگار ثبت شده اند، سرعت امواج مذکور در فواصل عمقی ۲متری در هر گمانه محاسبه شده و با توجه به مقادیر سرعت و چگالی لایه های زمین در آنها، مقادیر نسبت پواسون و مدول های الاستیسیته برجا نیز تعیین شده است.

گمانه	جنس	عمق (m)	Young m. Es (GPa)	Shear m. G (GPa)	Bulk m. K(Gpa)	Density (g/cm2)
BHS01	CL-ML	12	15.355	5.509	72.135	2.05
	MH	36	8.729	3.122	42.77	2.003
BHS02	CL	20	14.122	5.068	66.208	2.005
	CH	30	10.26	3.669	50.376	2.012
BHS03	CL	20	9.323	3.333	45.955	1.989
	CL	30	18.474	6.649	83.375	2.015
BHS04	CL	20	10.005	3.574	49.852	2.005
	CH	30	12.07	4.317	59.087	1.941
BHS05	CL	20	11.932	4.281	56.11	2.041
	CL	30	11.725	4.199	56.432	1.956
BHS06	CL	20	15.151	5.458	67.67	2.001
	CL	30	13.035	4.674	61.795	2.002
BHS07	SM	26	13.378	4.799	62.978	1.975
	CL	36	10.153	3.628	50.344	2.003
BHS08	CL	10	16.318	5.855	76.657	2.038
	CL-ML	20	19.04	6.845	87.094	2.037
BHS09	CL	34	16.147	5.806	73.757	1.903
BHS10	CL	10	7.218	2.569	37.809	2.116
	CL	26	18.231	6.564	81.925	2
	ML	36	14.071	5.047	66.388	1.822

جدول ۴- مشخصات بدست آمده حاصل از آزمایش دانهول

نتیجه گیری

کاوش های صحرائی در ارزیابی ویژگی های خاک یا سنگ یکی از بخش های اصلی پروسه طراحی ژئوتکنیکی کی باشد که در تکمیل آزمایشات جهت بدست آوردن پارامترهای مهندسی خاک اهمیت روز افزونی پیدا کرده اند (۳). در آزمایشات آزمایشگاهی به دلیل دست خوردگی غیر قابل اجتناب نمونه ها، ناشی از عوامل



انسانی و دستگاهی و همچنین شرایط واقعی محل، نتایج خیلی دقیق و معتبری را منعکس نمی‌کنند و لزوم استفاده از آزمایشات برجا را در پی دارد. آزمایشات برجا به دلیل داشتن شرایط واقعی تر تنش در محل و دست خوردگی کمتر خاک، از اعتماد بیشتری در نتایج حاصله برخوردارند. و از نتایج آن می‌توان در زمینه‌های دیگر مانند طراحی شمع‌ها و یا ایجاد ارتباط بین این نتایج و ویژگی‌های دیگر خاک استفاده نمود. در تحقیق حاصل ۱۰ حلقه گمانه ۴۰ متری از مسیر خط ۲ اصفهان بررسی و در عمق‌های مشخصی از این ۱۰ گمانه آزمایشات برجا انجام شده را تحلیل و نتایج نزدیک به هم بدست آمده است.

مراجع

۱. طرح خط ۲ قطار شهری اصفهان، گزارش نهایی مطالعات ژئوتکنیک خط ۲، جلد ۱ (گمانه‌های ایستگاهی، بین ایستگاهی و شفت ورودی *TBM*)، مهندسین مشاور آزمون فولاد، زمستان ۱۳۹۳.
۲. براجا، ام. داس، اصول مهندسی ژئوتکنیک، ترجمه شاپور طاحونی، چاپ پنجم، مؤسسه انتشارات پارس آیین، تهران، ۱۳۷۷، جلد اول و دوم.
۳. قنبری، ع، مشخصات آزمایش پرسیومتری، کاربردها، روش‌های اجرا و پارامترهای حاصله در مهندسی ژئوتکنیک، ششمین کنفرانس بین‌المللی عمران
4. Thomas, P. J. "Tunneling & Geotechnics: New Horizon". *Geotechnique* 58, No 9, 695-736, 2008.
۵. خانلری، غ، علی پورس، ارزیابی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل پارک ملت متروی تهران با استفاده از آزمایشات برجا، پانزدهمین همایش بین‌المللی علوم زمین.