

HN10104301259

مطالعات بستر طول محور قطار شهری تبریز

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

شهر تبریز یکی از شهرهای بزرگ ایران به شمار می آید. با توجه به جمعیت این شهر و وضعیت ترافیکی و حمل و نقل شهری، احداث قطار شهری در این شهر امری ضروری به نظر می رسد. در راستای توسعه قطار شهری تبریز، مطالعات ژئوتکنیک و اجرای خط ۲ قطار شهری در امتداد شرقی - غربی در دستور کار قرار گرفت. مرحله اول طرح تعداد ۵۳ حلقه گمانه ماشینی و ۱۵ حلقه چاهک حفاری شده است. به منظور مطالعات ژئوتکنیک تکمیلی خط ۲ قطار شهری تبریز به طول حدود ۲۵ کیلومتر، حدود ۹۰ گمانه و ۱۰ چاهک دستی در محل ایستگاه ها و طول مسیر حفاری می شود. تاکنون حفاری حدود ۸۵ گمانه انجام شده که در حین حفاری، آزمایش ضربه و نفوذ مخروط استاندارد آزمایش پرسیمتری و آزمایش تعیین نفوذ پذیری انجام شده است. در همه گمانه ها بعد از اتمام حفاری لوله پیژومتر نصب شده و سطح آب زیرزمینی در زمان های مختلف اندازه گیری شده است. در اینجا نتایج حاصل از عملیات حفاری و شناسایی ۴ گمانه واقع در بخش غربی (حد فاصل دپو تا میدان ماشین سازی قرا ملک) ارائه شده است. هدف بررسی وضعیت زیر سطحی لایه های زمین در محدوده مورد نظر و تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی آن است.

کلمات کلیدی: متروی تبریز، مهندسی پی، مکانیک خاک، مقاومت مصالح، مطالعات ژئوتکنیک

۱. مقدمه

عملیات حفاری ماشینی با دستگاه حفاری دورانی *SKB* صورت گرفته است. به منظور بررسی وضعیت لایه ها و مقاومت زمین، آزمایش های ضربه و نفوذ استاندارد در همه گمانه ها انجام شده است. علاوه بر این در عمق های مختلف گمانه ها، آزمایش پرسیمتری صورت گرفته است و سایر آزمایش های مختلف فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی شامل: دانه بندی، هیدرومتری، حدود اتربرگ و طبقه بندی خاک، تعیین وزن مخصوص، تعیین رطوبت، *GS*، تک محوری، برش مستقیم، سه محوری، تحکیم، نفوذپذیری، آزمایش های شیمیایی خاک و آب نیز انجام شده است.

۲. وضعیت زیر سطحی محدوده طرح

این بخش از طول مسیر در اراضی کشاورزی منطقه قرا ملک واقع شده است. سطح زمین پوشیده از خاک های کشاورزی حاصلخیز دشت تبریز می باشد. با توجه به نتایج حفاری ها و آزمایش های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، مقطع زمین شناسی محدوده مورد مطالعه تهیه شده و در شکل (۱) نشان داده شده است. بر اساس حفاری های انجام شده لایه های زمین از رسوبات آبرفتی تشکیل شده است. لایه های آبرفتی تا اعماق ۸ متری غالباً ریزدانه (خاک های رسی - سیلتی) و بعد از آن رسوبات ماسه ای شن دار می باشند. طبقه بندی خاک های ریزدانه *CL* و *ML* و خاک های درشت دانه *SM* هستند. ضخامت خاک سطحی کشاورزی از ۱ تا ۲ متر متغیر است. بر اساس اطلاعات چاه های عمیق منطقه (به ویژه چاه آزمایش پمپاژ محل شفت غربی) از عمق حدود ۴۵ متر به پایین لایه های ریزدانه خاکستری رنگ قرار دارند.

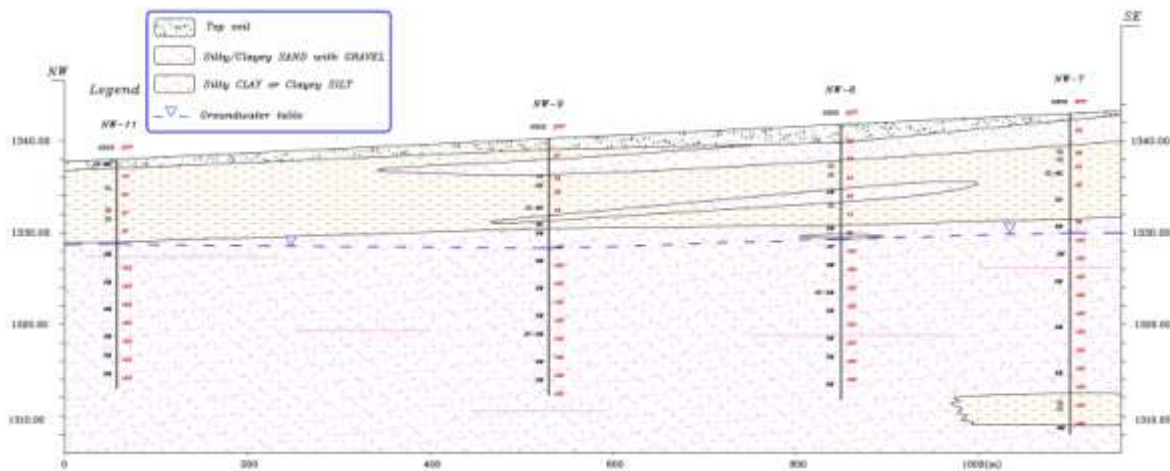
جدول ۱- مشخصات گمانه های مورد نظر

Borehole	Depth(m)	X	Y	Z
NW-7	35	606110	4216762	1360
NW-8	30	605938	4216943	1323

¹ 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

NW-9	28	605685	4217139	1357
NW-11	25	605387	4217512	1344



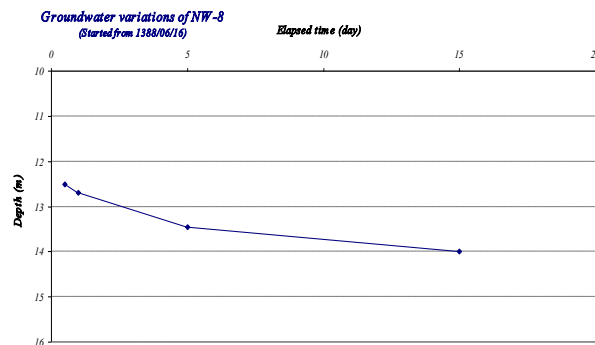
شکل ۱ | مقطع زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

۳. وضعیت آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه

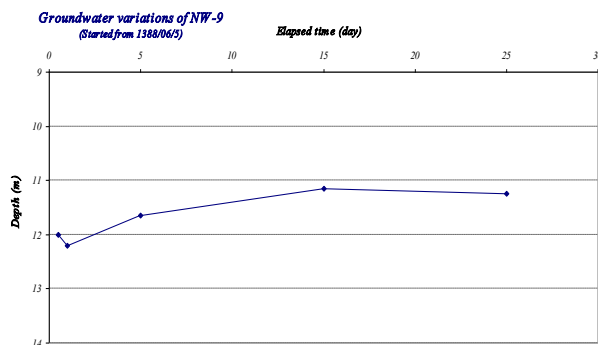
وضعیت آب زیرزمینی هم در حین حفاری گمانه ها و هم بعد از اتمام حفاری بررسی شده است. در هیچ یک از گمانه ها به لایه های آبدار تحت فشار برخورد نشده است. جهت بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی، همه گمانه ها با لوله PVC سوراخ دار پیژومتر شده و در زمان های مختلف سطح آب زیرزمینی قرائت شده است. تغییرات سطح آب دو گمانه بر حسب زمان در شکل های (۲) و (۳) ارائه شده است. مشاهده می شود که میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی ناچیز بوده است. عمق آب زیرزمینی بین ۹ تا ۱۴ متر اندازه گیری شده است. در جدول (۲) عمق آب زیرزمینی در روزهای مختلف نشان داده شده است.

جدول ۲- عمق آب زیرزمینی به متر در زمان های مختلف

تاریخ قرائت					گمانه
هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	هفته پنجم	
۱۳.۰	۱۳.۳	۱۳.۰	تخریب		NW-7
۱۲.۲	۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	۱۴.۰	NW-8
۱۲.۲	۱۲.۲	-	-	۱۱.۲۵	NW-9
۹.۲	۹.۲	تخریب			NW-11



شکل ۲ | تغییرات سطح آب زیرزمینی در گمانه NW-8



شکل ۳ تغییرات سطح آب زیرزمینی در گمانه NW-9

۴. 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 خاک است. در این آزمایش نمونه گیر استوانه ای شکافدار استاندارد با استفاده از چکشی به وزن ۶۳/۵ کیلوگرم با ارتفاع سقوط آزاد ۷۶۰ میلی‌متر در سه مرحله هر یک به طول ۱۵۰ میلی‌متر داخل خاک رانده می شود. تعداد ضربات لازم برای نفوذ هر مرحله به طور جداگانه ثبت می گردد. مجموع تعداد ضربات لازم برای دو مرحله نفوذ آخر به عنوان عدد نفوذ N استفاده می شود. در حین آزمایش هر گاه برای هر فاصله ۱۵ سانتی‌متر بیش از ۵۰ ضربه نیاز باشد آزمایش متوقف گردیده و در لوگ حفاری به عنوان مثال قطع آزمایش پس از ۱۱ سانتی‌متر نفوذ و رسیدن به بیش از ۵۰ ضربه، به صورت $11/50\text{ cm}$ نشان داده شده است. در لایه های قله سنگ دار از SPT نوک مخروطی (یا به اصطلاح غلط CPT) استفاده شده و این موارد در لوگ گمانه ها با عبارت Cone مشخص می شود. در مورد رابطه عدد SPT نوک مخروطی با عدد SPT نمونه گیر (Split Spoon) منبع معتبری وجود ندارد، ولی در منابع تجربی ذکر شده اگر عدد بدست آمده از آزمایش SPT نوک مخروطی به 0.75 ضرب شود، عدد SPT استاندارد بدست می آید. اعداد SPT بدست آمده از آزمایش نفوذ استاندارد نیاز به اصلاح دارند، مهمترین عاملی که در اصلاح عدد SPT مد نظر است، اصلاح فشار سربار CN می باشد. روابط تجربی مختلفی برای این اصلاح وجود دارد، در این مطالعات از رابطه (Liao & Whitman - ۱۹۸۶) استفاده شده است.

$$C_N = \left(\frac{95.76}{P'_0} \right)^{1/2}$$

$$N' = C_N \times N$$

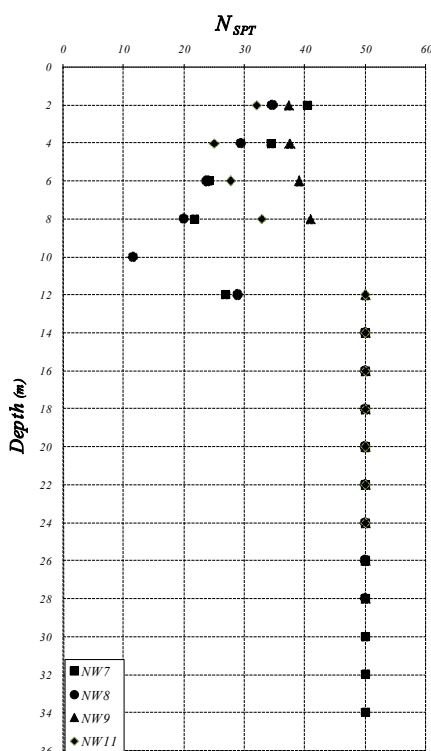
P'_0 تنش موثر موجود در عمق آزمایش، N عدد SPT آزمایش و N' عدد SPT اصلاح شده است. نتایج آزمایش های SPT اصلاح نشده در مقطع زمین شناسی شکل (۱) نشان داده شده است. نمودار تغییرات اعداد SPT اصلاح شده با عمق نیز برای همه گمانه ها در شکل (۴) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود، در تعداد ضربات SPT نوساناتی مشاهده می شود. با توجه به توصیف کیفی خاک ها بر اساس جداول (۳) و (۴)، مشاهده می شود که خاک های مسیر عمدتاً دارای تراکم و سختی متوسط تا بالا هستند.

جدول ۳- تقسیم بندی خاک های درشت دانه بر اساس عدد SPT (ترزاقی ۱۹۴۳)

عدد SPT	وضعیت خاک	
0-4	Very Loose	خیلی سست
4-10	Loose	سست
10-30	Medium Dense	تراکم متوسط
30-50	Dense	متراکم
>50	Very Dense	خیلی متراکم

جدول ۴- تقسیم بندی خاک های ریز دانه بر اساس عدد SPT (ترزافی ۱۹۴۳)

عدد SPT	وضعیت خاک	
<2	Very soft	خیلی نرم
2-4	Soft	نرم
4-8	Medium Stiff	سفت متوسط
8-15	Stiff	سفت
15-30	Very Stiff	خیلی سفت
30<	Hard	سخت



شکل ۱: تغییرات عدد SPT با عمق در گمانه های مختلف اعداد iPT بیش iD ؛ همما iD ذکر شده است)

۵. نتایج آزمایش های پرسیمتری

آزمایش فشار سنجی یا پرسیمتری یکی از آزمایش های برجا مفید برای تعیین رفتار تنش - تغییر شکل خاک می باشد. 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 نتایج این آزمایش می توان پارامتر های زیر را بدست آورد: ۱- مدول تغییر شکل ۲- مقاومت برشی زهکشی نشده (C_u) برای رس ها و سنگ های ضعیف ۳- مدول برشی ۴- فشار حدی. تفاوت بین انواع پرسیمتر ها، نحوه قرار گیری آنها داخل گمانه می باشد. پرسیمتر های متداول سه نوع هستند: ۱- در داخل گمانه های آماده مستقر می شوند ($P.D.P$) ۲- خود فشار هستند ($S.B.P$) ۳- با فشار داخل زمین قرار می گیرند ($P.I.P$). دستگاه مورد استفاده در این پروژه از نوع ($P.D.P$) می باشد که موسوم به پرسیمتر منارد است. اساس کار دستگاه پرسیمتری، بر انبساط یک استوانه بلند در داخل یک گمانه قرار می گیرد، قرار دارد. تغییرات فشار و حجم مربوط به آن در طول آزمایش قابل اندازه گیری می باشد. آزمایش پرسیمتری با سوند ۶۰ میلیمتری مستقر در تیوب فلزی شکاف دار ($Slotted Tube$) انجام گرفته است. شایان ذکر است که در لایه های غیر چسبنده (ماسه ای و شنی تمیز تا نسبتاً تمیز) به دلیل نبود چسبندگی خاک و ریزشی بودن دیواره گمانه، آماده سازی مقطع مناسب و انجام پرسیمتری میسر نشده است. در هر گمانه انجام ۱ تا ۲ آزمایش

پرسیومتری در اعماق حوالی تونل مد نظر بوده است. با توجه به این که لایه های این بخش بیشتر ماسه‌ای و ریزشی بوده است، لذا انجام آزمایشات پرسیمیتری به تعداد مورد نظر ممکن نشده است. در گمانه های این بخش مجموعاً ۴ آزمایش با موفقیت انجام شده است.

۱.۵. مراحل تحلیل نتایج آزمایش پرسیمیتری

۱- تعیین اختلاف فشار بین سلول محافظ و هسته اندازه گیر (P_c) بر اساس نتیجه آزمایش همسنجی ۲- تعیین فشار هیدروستاتیک بین محفظه و واحد کنترل (P_δ)

$H =$ عمق قرار گیری محفظه نسبت به واحد کنترل

$\gamma_l =$ وزن واحد حجم سیال اندازه گیری دستگاه

$$P_\delta = H \times \gamma_l$$

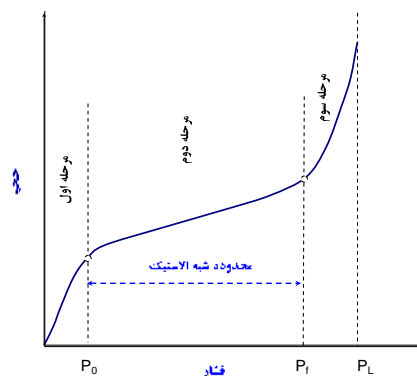
$$P = P_{pressuremeter} + P_\delta - P_c$$

۳- اصلاح داده های آزمایش پرسیمیتری ۴- رسم منحنی فشار - تغییر حجم مشابه منحنی شکل (۵) ۵- تعیین مقادیر ΔP ، ΔV و V_m از روی نمودار شکل (۵)

ΔP : اختلاف فشار اصلاحی در قسمت خطی نمودار

ΔV : اختلاف حجم اصلاحی در قسمت خطی نمودار

V_m : حجم اصلاحی در وسط محدوده افزایش حجم ΔV



شکل ۵) نمودار فشار - تغییر حجم در آزمایش پرسیمیتری

۶- با توجه به مقادیر بدست آمده از مرحله ۵ و مقدار V_0 حجم قسمت اندازه گیر محفظه هنگامی که هنوز افزایش حجم پیدا نکرده و در سطح زمین اندازه گیری می شود، مقدار ضریب پرسیمیتری با E_M مدول منارد از رابطه زیر بدست می آید:

$$E_p = E_M = 2(1+\nu)(V_0 + V_m) \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

$$K_s = \left[\frac{4R}{9E_m} (2.65)^\alpha + \frac{\alpha}{3E_m} R \right]^{-1} \quad R \leq 0.3m$$

$$K_s = \left[\frac{4R}{9E_m} \left(2.65 \frac{R}{R_0} \right)^\alpha + \frac{\alpha}{3E_m} R \right]^{-1} \quad R > 0.3m$$

مدول واکنش بستر که از این رابطه بدست می آید، مدول واکنش بستر افقی خاک است و در محاسبات شمع ها مورد استفاده قرار می گیرد. ضریب α بر اساس جداول تجربی موجود و نوع خاک محدوده مورد مطالعه بین ۰/۲۵ تا ۱ در نظر گرفته شده است. همچنین $R = m \cdot ۰.۳$ فرض شده است (نشریه شماره ۲۲۳ سازمان مدیریت و برنامه ریزی). با توجه به روابط ارائه شده، خلاصه نتایج آزمایش های پرسیمیتری انجام شده در جدول (۶) آورده شده است. ضریب پرسیمیتری (E_m) با مدول کشسانی ($E'_s = E_{oed}$) که از آزمایش تحکیم بدست می آید، متناسب است. این تناسب به صورت زیر است:

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

$$E'_s = E_{oed} = E_m / \alpha$$

مقدار α در خاک های مختلف در جدول (۵) زیر نشان داده شده است.

جدول ۵- مقدار α در خاک های مختلف (Menard and Rousseau - ۱۹۶۲)

نوع خاک	رس	لای	ماسه	قلوه سنگ (شن)
α	۰/۶۷	۰/۵	۰/۳۴	۰/۲۵

در خاک های بسیار فشرده مقدار α ممکن است بیش از یک باشد. مقدار مدول تغییر شکل بدست آمده از آزمایش پرسیمتری، مدول محدود شده بوده و با استفاده از رابطه ارائه شده به وسیله باولز تبدیل به مدول الاستیسیته می شود:

$$E_s = \frac{E'_s (1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

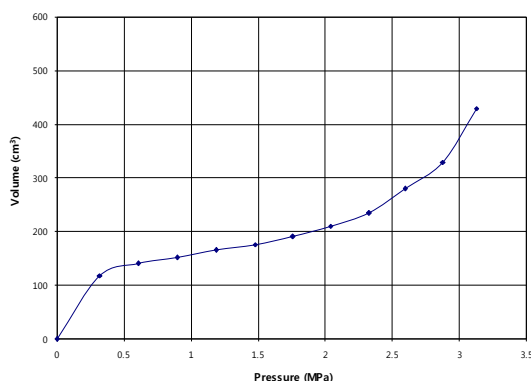
جدول ۶- فهرست و نتایج آزمایشات پرسیمتری

Borehole	Depth	Type	ν	E_m	E'_s	E_s	E_m Reloading	PL	E_m/PL	Cu	G	Ks
NW-7	10.0-11.5	CH	0.40	155	235	110	-	25.6	6.1	0.45	60	6.1
NW-8	8.5-10.0	CL	0.40	165	250	115	455	26.5	6.2	0.48	65	6.2
NW-9	10.0-11.5	SM	0.33	230	690	460	-	52.6	4.4		85	10.5
NW-11	10.0-11.5	SM	0.33	390	1170	785	-	103	3.8		145	17.8

نمودار فشار تغییر حجم یک آزمایش پرسیمتری انجام شده در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. در ادامه نحوه بدست آوردن فشار حدی از این آزمایش شرح داده می شود. با توجه به نوع پرسیمتر مورد استفاده، حجم اولیه حفره V_C برابر ۵۳۵ سانتیمتر مکعب است. برطبق رابطه (۳-۱۰) حجم مورد نظر برای محاسبه فشار حدی بدست می آید:

$$V_L = V_0 + V_C + V_0 = 2(V_0 + V_C)$$

که در این رابطه V_0 حجم لازم برای باد کردن غشا و فشار دادن خاک تا حالت اولیه و V_C حجم اولیه سلول اندازه گیری است.



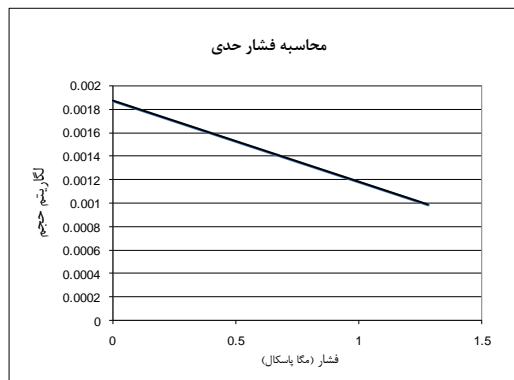
شکل ۳) نمودار فشار - تغییر حجم حاصل از یکی از آزمایش های پرسیمتری

باتوجه به محدوده خطی شکل (۶) مقدار V_0 برابر ۱۴۱ سانتیمتر مکعب است. بنابراین براساس رابطه ذیل مقدار V_L برابر است با:

$$V_L = 2(V_0 + V_C) = 1352 \text{ cm}^3$$

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

به دلیل این که آزمایش پرسیومتری تا حجم ۱۳۵۲ سانتیمتر مکعب انجام نشده است، فشار حدی را نمی توان مستقیماً از روی شکل (۶) قرائت کرد. فشار باید در مقابل لگاریتم حجم در فاز پلاستیک رسم شود تا از روش برون یابی مقدار فشار حدی را به دست آورد. این نمودار در شکل (۷) رسم شده است. با توجه به شیب نمودار (۷) معادله خط برون یابی بدست آمده و از این معادله مقدار فشار حدی برای حجم ۱۳۵۲ سانتیمتر مکعب بدست می آید. این مقدار با توجه به معادله خط مورد نظر برابر با ۳/۴ مگاپاسکال است.



شکل ۷ - نمودار فشار - لگاریتم حجم حاصل از یکی از آزمایش های پرسیومتری

بین مقاومت برشی زهکشی نشده (C_u) و فشار حدی (P_L) مطابق جدول (۷) رابطه ذیل برقرار است.

جدول ۷- ارتباط بین C_u و P_L (Amar & Jezequel - ۱۹۷۲)

$C_u(kPa)$	$P_L-\sigma_{h0}(kPa)$
$(P_L-\sigma_{h0})/5.5$	< 300
$((P_L-\sigma_{h0})/10)+25$	> 300

با داشتن ضریب پرسیومتری (E_m) و فشار حدی (P_L) می توان به طور نسبی در مورد شرایط کلی خاک اظهار نظر کرد. برای مثال در خاک های بیش تحکیم یافته نسبت E_m/P_L یک مشخصه از خاک بوده و در خاک های این محدوده از ۴ تا ۶ تغییر می کند. براساس جدول (۸) می توان گفت که خاک های محدوده مورد مطالعه، در محدوده کم تحکیم یافته قرار دارند.

جدول ۸- نسبت E_m/P_L در خاک های مختلف (نشریه شماره ۲۲۳ سازمان مدیریت و برنامه ریزی)

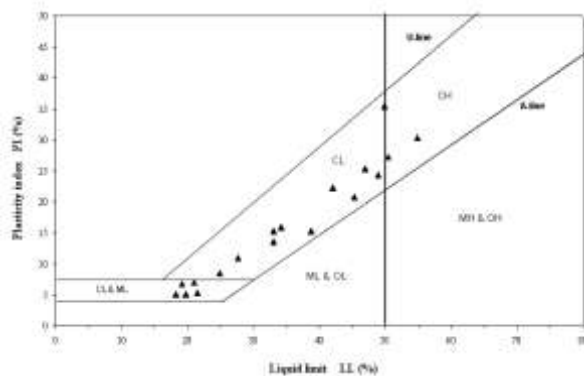
نوع خاک	رس	لای	ماسه	ماسه و شن
شرایط تراکم				
بیش تحکیم یافته	> ۱۵	> ۱۴	> ۱۲	> ۱۰
عادی تحکیم یافته	۸ تا ۱۵	۸ تا ۱۴	۷ تا ۱۲	۶ تا ۱۰
کم تحکیم یافته	۵ تا ۸	۵ تا ۸	۴ تا ۷	۳ تا ۶
دگرگون شده (دستخورده)	< ۵	< ۵	< ۴	< ۳

۶. نتایج آزمایش های شناسایی خاک

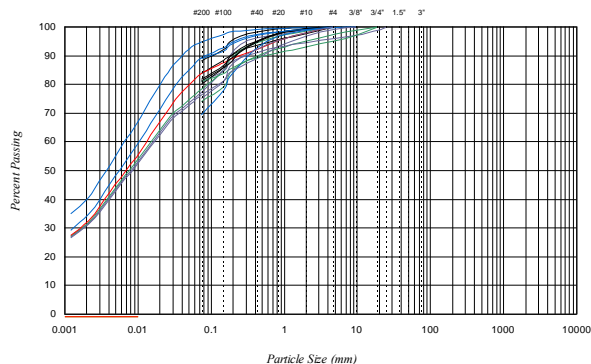
آزمایش های شناسایی خاک ها شامل آزمایشات دانه بندی، هیدرومتری، حدود اتربرگ و طبقه بندی می باشد. آزمایش های دانه بندی بر روی نمونه های ماخوذه از اعماق مختلف گمانه ها انجام گردیده است. به طور کلی خاک محدوده مورد مطالعه بر اساس مشاهدات حین حفاری و نتایج آزمایش های دانه بندی، از تراوب رسوبات آبرفتی ریزدانه و درشت دانه ماسه ای تشکیل شده است. رسوبات درشت دانه اغلب به صورت ماسه سیلت دار با طبقه بندی *SM* و رسوبات ریزدانه عمدتاً به صورت سیلت و رس با خاصیت خمیری کم و با طبقه بندی *CL* و *ML* شناسایی شده است. در شکل (۸) محدوده دانه بندی رسوبات مختلف ارائه شده است. آزمایش تعیین حدود اتربرگ نیز بر روی نمونه های ریزدانه انجام شده است. حد روانی و شاخص پلاستیسیته لایه های مختلف در نمودار کاساگرانده در شکل (۹) و تغییرات آنها با عمق در شکل (۱۰) نشان داده شده است. مشاهده می شود که حد روانی نمونه های ریزدانه عموماً از ۲۰ تا ۵۵ درصد و شاخص پلاستیسیته لایه های مختلف نیز در محدوده تقریبی ۵ تا ۳۰ درصد متغیر می باشد که در محدوده خاک های با پلاستیسیته کم تا متوسط قرار می گیرد. مقدار عدد فعالیت برای نمونه های ریزدانه محاسبه شده و در جدول (۹) ارایه گردیده است. معمولاً خاک های با عدد فعالیت کمتر از ۰/۷۵ غیر فعال و بین ۰/۷۵ تا ۱/۵ فعال و بیش از ۱/۵ خیلی فعال طبقه بندی می شوند. مشاهده می شود که خاک های ریزدانه محدوده مورد مطالعه در رده غیر فعال تا فعال قرار دارند.

جدول ۹- مقادیر عدد فعالیت نمونه های مختلف

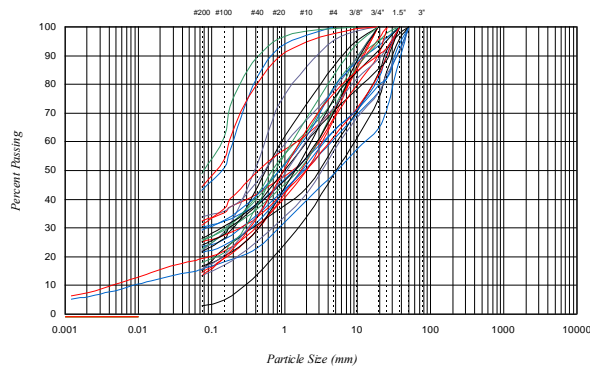
Borehole	Depth	Clay Content	PI	Activity
NW-7	6.7-7.0	32	5.3	0.17
	31.5-32.0	32	13.5	0.42
NW-8	8.5-9.0	33	35.5	1.08
NW-9	5.0-5.5	35	30.4	0.87
NW-11	3.0-3.45	40	24.4	0.61
	6.5-7.0	31	25.4	0.82



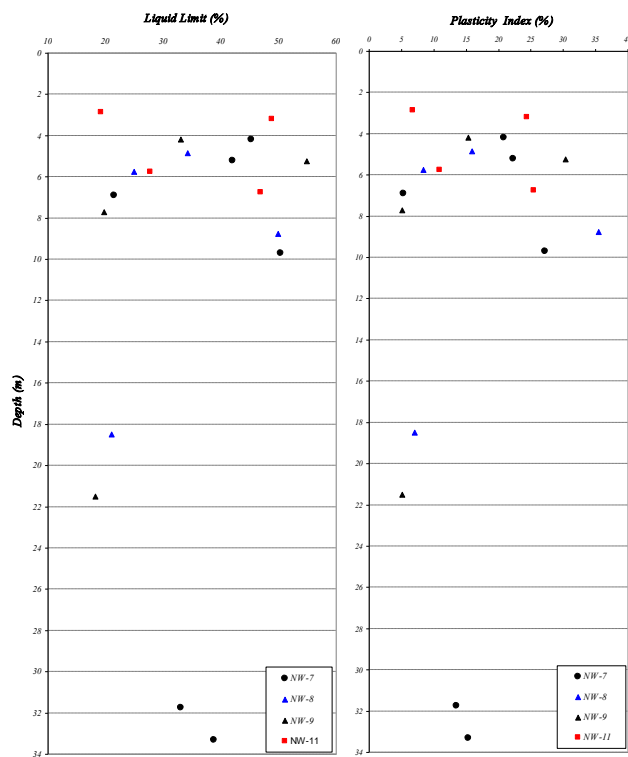
شکل ۸- حد روانی و شاخص پلاستیسیته در نمودار کاساگرانده



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



شکل ۶: تعدادی از منحنی های دانه بندی خاک های ریزدان ؛ درشت دانه



شکل ۱۰: تغییرات حد روانی و شاخص خمیری با عمق

۷. نتایج آزمایش های تعیین وزن مخصوص و رطوبت طبیعی

منظور از وزن مخصوص، وزن واحد حجم خاک می باشد. در این آزمایش حجم نمونه های موم اندود شده و یا مغزه های با اشکال هندسی مشخص اندازه گیری شده و سپس وزن خاک خشک و یا وزن خاک در رطوبت طبیعی اندازه گیری می شود. نسبت وزن خاک خشک و یا طبیعی به حجم آن به ترتیب وزن مخصوص خشک و وزن مخصوص طبیعی نامیده می شود. آزمایش تعیین وزن مخصوص خاک، بر روی نمونه های دست نخورده ماخوذه از مغزه های حفاری، انجام شده و وزن مخصوص خشک نمونه ها بین ۱/۵۷ تا ۱/۷۲ گرم بر سانتیمتر مکعب بدست آمده است. همچنین وزن مخصوص طبیعی نمونه ها بین ۱/۸۷ تا ۲/۰۹ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد و درصد رطوبت بین ۱۳.۸ تا ۲۵.۵ می باشد.

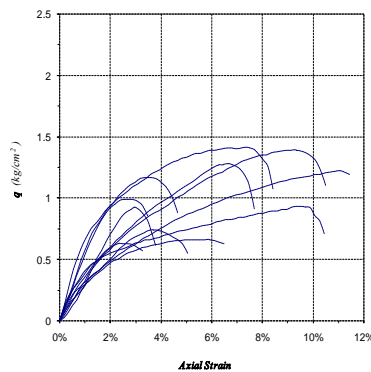
۸. نتایج آزمایش های تعیین چگالی ویژه ذرات جامد خاک

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

منظور چگالی ویژه ذرات جامد خاک (G_s) نسبت وزن مخصوص دانه های جامد خاک به وزن مخصوص آب می باشد. آزمایش تعیین چگالی ویژه دانه های جامد خاک بر روی نمونه های مازوذه از گمانه ها انجام شده است. مشاهده می شود که چگالی ویژه ذرات خاک بین ۲/۵۸ تا ۲/۷۱ بدست آمده و مقدار متوسط آن ۲/۶۳ می باشد.

۹. نتایج آزمایش های تک محوری

آزمایش فشاری تک محوری محصور نشده روش سریعی برای تعیین مقاومت فشاری ساده و چسبندگی زهکشی نشده (یا مقاومت برشی زهکشی نشده) خاک های رسی محسوب می شود. با توجه به سرعت نسبتاً زیاد بار گذاری تک محوری و نفوذ پذیری خیلی کم لایه های ریزدانه، در صورتی که نمونه ها در شرایط اشباع باشند، مقدار مقاومت برشی زهکشی نشده (CU) حدود نصف مقاومت تک محوری حداکثر خواهد بود. نتایج بین ۲.۵ تا ۱۱.۰ بود. و مقدار q_u بین ۰.۶۳ تا ۱.۴۱ به دست آمد. مطابق شکل (۱۱)



شکل ۱۱: نمودار تنش - کرنش آزمایش های تک محوری

۱۰. نتایج آزمایش های برش مستقیم

در آزمایشات برش مستقیم کند، نیروی برشی با نرخ آرام به نمونه خاک اعمال می گردد تا فرصت زهکشی کامل به نمونه داده شود. در این صورت فشار آب حفره ای اضافی برابر با صفر و تنش نرمال اعمالی برابر با تنش نرمال موثر خواهد بود. مشاهده می شود که در آزمایشات تند مقدار چسبندگی (C) نمونه ها بین ۰/۰۶ تا ۰/۹۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بوده و مقدار زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) بین ۱۵ تا ۳۶ درجه قرار دارد. در آزمایشات برش کند نیز مقدار زاویه اصطکاک داخلی بین ۲۱ تا ۳۷ و مقدار چسبندگی بین ۰/۰۳ تا ۰/۱۴ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بدست آمده است.

۱۱. نتایج آزمایش های سه محوری

آزمایش سه محوری تحکیم نیافته زهکشی نشده (UU)، نمونه آزمایش اجازه زهکشی در مرحله تحکیم و در مرحله برش را نخواهد یافت. در این آزمایش فشار همه جانبه به نمونه وارد می گردد و سپس تنش انحرافی محوری افزایش داده می شود تا نمونه به گسیختگی برسد. در آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده (CU) نمونه تحت فشار همه جانبه تحکیم می گردد. در این مرحله امکان زهکشی کامل برای نمونه فراهم خواهد بود. پس از تحلیل کامل فشار آب حفره ای اضافی که به واسطه اعمال فشار همه جانبه وجود آمده بود (U_c)، تنش انحرافی محوری افزایش داده می شود تا نمونه آزمایش به گسیختگی برسد. در مرحله بارگذاری محوری، شیر زهکشی دستگاه بسته خواهد بود که در نتیجه فشار آب حفره ای به سبب بارگذاری محوری (U_d) افزایش خواهد یافت. در مجموع ۸ آزمایش سه محوری بر روی نمونه های دست نخورده و بازسازی شده انجام گردیده که تعداد ۴ آزمایش به روش تحکیم یافته زهکشی نشده و بقیه به صورت تحکیم نیافته زهکشی نشده می باشند. بر مبنای نتایج بدست آمده در حالت تحکیم یافته زهکشی نشده، مقدار چسبندگی زهکشی نشده بین ۰/۱۲ تا ۰/۱۹ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و مقدار زاویه اصطکاک داخلی ۲۸ تا ۳۱ درجه بدست

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

آمده است. در حالت تحکیم نیافته زهکشی نشده نیز مقدار چسبندگی بین ۰/۶۹ تا ۱/۱۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و مقدار زاویه اصطکاک داخلی ۸ تا ۹ درجه بدست آمده است.

۱۲. نتایج آزمایش های نفوذ پذیری

به طور کلی تعیین نفوذ پذیری خاک در آزمایشگاه با دو روش بار آبی افتان و بار آبی ثابت انجام می گیرد. آزمایش بار آبی افتان برای خاک های ریزدانه با ضریب نفوذ پذیری کم مناسب میباشد. با توجه به این که تنها امکان نمونه برداری دست نخورده از خاک های درشت دانه وجود نداشته است، لذا آزمایشات انجام شده از نوع بار آبی افتان بوده است.

جدول ۱۰- نتایج آزمایش های تعیین نفوذ پذیری آزمایشگاهی

Borehole	Depth(m)	γ_d (gr/cm ³)	K(cm/s)
NW-7	9.5-9.7	1.62	4.67E-07
	31.5-32.0	1.70	7.75E-06

۱۳. نتایج 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 در سازه های مربوطه به وجود آورد. بر طبق آزمایش های انجام شده مقدار سولفات موجود در خاک بین ۰/۰۷ تا ۰/۲۱ درصد و مقدار یون کلر نیز ۰/۰۱۸ تا ۰/۰۳۸ درصد بدست آمده است. مقدار PH نمونه های مورد آزمایش نیز بین ۸/۷ تا ۸/۹ اندازه گیری شده است. همچنین مقدار مواد آلی بین ۰/۰۷ تا ۰/۲۵ بدست آمده است. با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می شود که بر اساس آیین نامه بتن ایران شرایط محیطی از نوع متوسط می باشد.

۱۴. پیشنهاد پارامتر های ژئوتکنیکی لایه ها

بر اساس جنس لایه ها، عمق آب زیرزمینی و تراکم لایه ها، کلاً ۵ لایه به شرح جدول (۱۱) قابل تفکیک است. شایان ذکر است که جنس لایه های بیش از اعماق حفاری، با اطلاعات حفاری های عمیق موجود در منطقه به ویژه چاه پمپاژ محل شفت غربی تخمین زده شده است.

جدول ۱۱- پارامتر های ژئوتکنیکی لایه های زمین

عمق لایه (m)	0-7	7-15	15-30	30-45	> 45
جنس غالب	سیلت و رس	ماسه شن دار	ماسه شن دار	ماسه شن دار	رسوبات ریز دانه
عدد SPT	15 ~ 45	25 ~ >50	>50	>50	>50
چسبندگی C_{uv}	0.35 ~ 0.45	0.1-0.2	0.2-0.25	0.2-0.25	0.3 ~ 0.4
چسبندگی C_{cu}	0.25 ~ 0.35	0.05~0.1	0.1 ~ 0.15	0.1 ~ 0.15	0.25 ~ 0.35
زاویه اصطکاک داخلی ϕ_{cu}	16~20	24~28	26~30	28~32	20~22
وزن مخصوص خشک	1.60 ~ 1.70	1.70 ~ 1.75	1.75 ~ 1.80	1.75 ~ 1.80	1.70 ~ 1.75
نسبت پواسون	0.35 ~ 0.40	0.30	0.30	0.30	0.35
مدول تغییر شکل	120 ~ 200	300 ~ 350	400 ~ 450	500 ~ 550	400 ~ 450
ضریب نفوذ پذیری	1E-6 ~ 1E-7	5E-4 ~ 5E-3	1E-4 ~ 1E-3	1E-5 ~ 1E-4	1E-6 ~ 1E-7

۱۵. نتیجه‌گیری

۱. محدوده تا عمق بررسی شده (حدود ۳۵ متر) رسوبات سطحی تا اعماق حدود ۷ متری از نوع ریز دانه و سپس ماسه ای می باشد. بر اساس اطلاعات چاه های عمیق منطقه از عمق حدود ۴۵ متر به پایین لایه های ریزدانه خاکستری رنگ دیده می شوند. ضخامت خاک نباتی سطحی در این محدوده بین ۱ تا ۲ متر است. عمق آب زیرزمینی در این محدوده بین ۹ تا ۱۴ متر مشاهده شده است.
۲. □ عدد آزمایش *SPT* در لایه های مختلف از تغییرات زیادی برخوردار است. کمترین مقدار آن ۱۱ می باشد و در بیشتر لایه ها عدد *SPT* بالای ۵۰ بوده و لذا خاک مسیر عمدتاً دارای تراکم و سختی متوسط تا بالا است. نتایج آزمایش های پرسیمتری نشان می دهد که مدول تغییرشکل خاک ها متغیر بوده و در محدوده ۴۵۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع قرار دارد. □ براساس نتایج آزمایشات شیمیایی، شرایط محیطی متوسط بوده و استفاده از سیمان نوع ۱ بلامانع است به شرطی که عیار سیمان کمتر از ۳۷۰ کیلوگرم بر متر مکعب نباشد و نسبت آب به سیمان از ۰/۵ تجاوز نکند یا از سیمان نوع ۵ استفاده شود.
۳. □ با توجه به جنس و مقاومت بالای لایه های خاک، احتمال بروز فروریزش (رمبندگی) در اثر اشباع شدن و یا روانگرایی در موقع زلزله منتفی است. بر اساس نتایج آزمایشات اندازه گیری سرعت موج برشی در گمانه های مجاور و جنس و تراکم لایه های موجود، نوع زمین از نوع *III* پیشنهاد می شود. مخاطرات ژئوتکنیکی یکی از مسایل قابل توجه در مطالعات ژئوتکنیکی می باشند. پدیده هایی مانند وجود گسل ها و قنات های متروکه نیز ممکن است نگرانی هایی علاوه بر مواردی که در بالا ذکر شد را بوجود آورند. در موقع حفاری با هیچ فضای خالی برخورد نشده است ولی احتمال برخورد با کانال قنات های متروکه و یا چاه های فاضلاب وجود دارد. خطر روانگرایی در لایه های ماسه ای اشباع با توجه به مقادیر بالای عدد *SPT* منتفی می باشد.

۱۶. مراجع

1. Adib, A., & Ashofteh, A., *Geotechnical & Foundation Engineering Studies Of Aditional 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 علی‌رضا آشفته، ادیب، ا.، ملکی، م. و طاهرخان، غ. (۱۳۹۲)، "تحلیلی خطر زمین لرزه و طغیانی طراحی مصفاای امام خمینی (ره) تهران" همایش و نشست تخصصی مدیعت شهری و توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر با همکاری شهرداری اسلامشهر، جزء ۲۰ مقاله برتر همایش
۳. سربع علی‌رضا آشفته، ادیب، ا.، ملکی، م. و شاکر منتظری، ن. (۱۳۹۲)، "مطالعات ژئوتکنیک و مهندسی پی سازه های جنبی مجتمع فولاد قانات" همایش و نشست تخصصی مدیعت شهری و توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر با همکاری شهرداری اسلامشهر، جزء ۲۰ مقاله برتر همایش