



آسیب شناسی ژئوتکنیکی کوی فرشته تبریز

علیرضا علیزاده مجدی^{۱*}، روزبه دبیری^۲

^{۱*} دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. (alimajdii@yahoo.com)

^۲ استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

چکیده

نشست تحکیمی یکی از مشکلات اصلی ژئوتکنیکی در مناطق با لایه های ریزدانه اشباع می باشد. ارزیابی این پدیده با حفاری گمانه، تهیه نمونه های دست نخورده، تعیین خصوصیات ژئوتکنیکی خاک و انجام آزمایش تحکیم انجام می شود. بدلیل هزینه و زمان قابل توجه مخصوصاً در مناطق وسیع معمولاً متأسفانه موضوع نشست تحکیم به طور کافی مطالعه نشده و در نتیجه آسیب ها و خسارتهای عمده در پروژه های عمرانی ناشی از بروز این پدیده بوجود می آید. انواع لایه های رسی و مارنی در قسمتهای مختلف شهر تبریز گسترش یافته است. در منطقه ای بنام کوی فرشته شمالی (واقع در شمال شرقی شهر) این لایه های رسی سیلتی در معرض مسیر زهکشی آبهای زیر سطحی ارتفاعات شمالی شهر تبریز قرار گرفته و از پتانسیل نشست تحکیمی قابل توجه برخوردار می باشند. تعداد قابل توجهی از ساختمانهای مسکونی اجرا شده در این منطقه در سالهای گذشته دچار آسیبهای جدی شده اند. در این تحقیق با حفاری گمانه های ماشینی و دستی در محدوده مذکور آزمایشات کامل فیزیکی، خمیری، مقاومتی و تحکیم بر روی نمونه های تهیه شده برنامه ریزی و انجام گردید. پس از بررسی ژئوتکنیکی لایه های محل تحقیق، مقاومت باربری مجاز پی های نواری سازه های موجود بر اساس معیارهای گسیختگی هنسن، نفوذ استاندارد و نشست تحکیم در حالت های مختلف عرض پی و نسبت طول به عرض پی ها محاسبه گردید. براساس نتایج این تحقیق، معیار نشست تحکیمی مقاومت مجاز پی ها را تعیین می کند. بر این اساس مقاومت مجاز پی های سطحی برای سازه های معمول در این منطقه کافی نمی باشد. انجام مطالعات ژئوتکنیکی کافی و استفاده از پی های عمیق توصیه و پیشنهاد می گردد.

کلمات کلیدی

نشست تحکیم، رس سیلتی تبریز، پی نواری، ظرفیت باربری.



Geotechnical Illustration of Fereshteh Alley in Tabriz City

Alireza Alizadeh Majdi^{1*}, Rouzbeh Dabiri²

^{*1} Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. (alimajdi@yahoo.com)

² Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

ABSTRACT

The consolidation settlement is one of the main geotechnical problems in areas with saturated fine grained layers. This phenomenon evaluation is carried out by borehole drilling, preparation of intact specimens, determination of geotechnical properties of soil and doing consolidation test. The subject of consolidation settlement does not sufficiently studied due to the considerable cost and time, especially in large areas. So the major damage of structures caused by this phenomenon. Types of clay and marl soil layers have spread in different parts of Tabriz city. In the north Fereshteh alley (located in the northeastern part of Tabriz city), the silty clay layers are outcrop. This layers have a significant consolidation settlement potential due to the drainage seepage of the sub-surface waters of the northern mountains of Tabriz. A significant number of buildings in this area have been seriously damaged in recent years. In this research, a geotechnical properties of soil samples (physical, plasticity, strength and consolidation properties), Obtained from drilling machine borehole and test pit, were determined. Initially, geotechnical conditions of layers is described. The allowable bearing capacity of the existing strip foundation, based on Hansen criteria, standard penetration test results and consolidation settlement, were calculated. This results were plotted for several of foundation widths and ratios of length to width. Based on this study results, the consolidation settlement criterion dictates allowable bearing capacity of foundations. So, the allowable bearing capacity of usual shallow foundation is not enough for usual structures in this area. Adequate geotechnical investigations and the use of deep foundations are recommendations and suggestions of this study.

Keyword: Consolidation settlement, Silty clayey of Tabriz, Strip foundation, Bearing capacity.

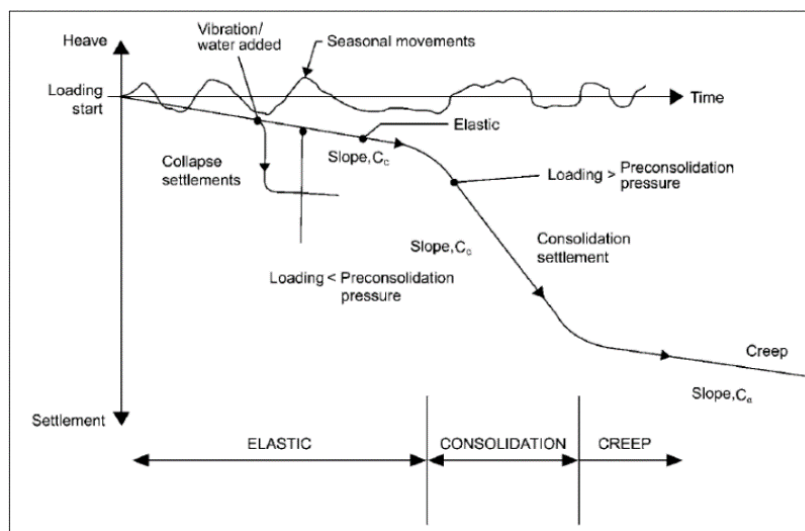


۱- مقدمه

نشست تحکیمی یکی از مشکلات اصلی ژئوتکنیکی در مناطق مختلف دنیا از جمله ایران می باشد. روش متداول ارزیابی این پدیده شامل حفاری گمانه به تعداد کافی، تهیه نمونه های دست نخورده، برآورد خصوصیات ژئوتکنیکی خاک و انجام آزمایش تحکیم با استفاده از دستگاه ادنومتر است. انجام این آزمایشات با صرف هزینه و زمان قابل توجه مخصوصاً در پروژه های عمرانی با گستره وسیع همراه می باشد. با توجه به این مشکلات متأسفانه معمولاً موضوع نشست تحکیم به طور کافی مطالعه نشده و در نتیجه آسیب ها و خسارت در پروژه های عمرانی ناشی از وقوع این نشست نیز قابل توجه است. در این تحقیق با توجه به وجود مشکلات ناشی از نشست تحکیم در مناطقی از شهر تبریز، با هدف اصلی ارزیابی ضرایب محاسبه نشست تحکیمی با انجام آزمایشات نسبتاً کاملی موضوع آسیب شناسی مشکلات در ارتباط با نشست تحکیمی مورد بررسی قرار می گیرد.

۱-۱- بیان مساله و ضرورت اجرای طرح

به تغییر شکل قائم سازه ناشی از فشردگی در لایه خاک زیر پی آن، نشست گفته می شود. تغییر شکل خاک تحت شرایط و پدیده های مختلف روی می دهد. طبق شکل (۱) نشست لایه خاک تحت شرایط مختلف از قبیل تورم و انقباض در اثر تغییرات فصلی رطوبت، نشست الاستیک، تحکیم حالت پیش تحکیم یافته برای تنشهای کمتر و تحکیم عادی برای تنش های بزرگتر، خزش، رمبندگی در اثر ارتعاش یا افزایش رطوبت در لایه نشان داده شده است. نوع نشست در انواع لایه ها متفاوت می باشد. نشست تحکیم و خزش در لایه های رسی و سیلتی روی داده و نشست آنی یا الاستیک در تمام لایه ها روی می دهد. این موضوع در جدول (۱) ارائه شده است [۱].



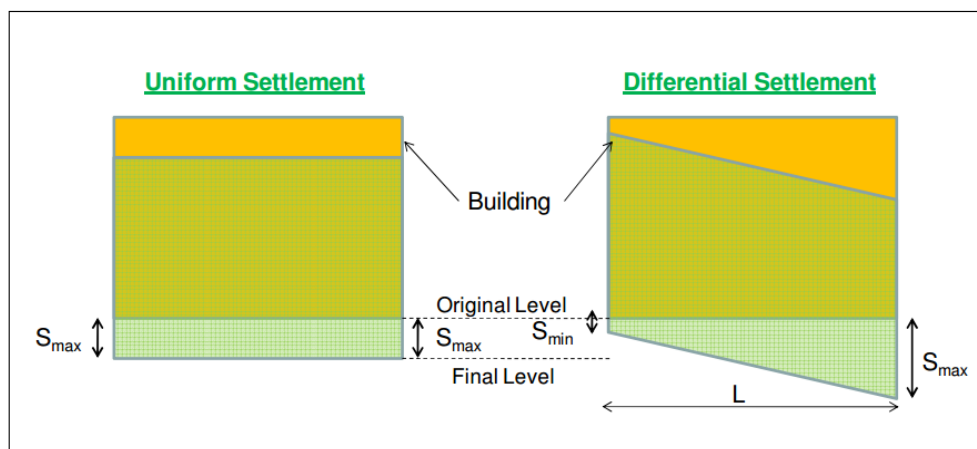
شکل ۱: نشست لایه خاک در اثر شرایط مختلف [۱]



جدول ۱: نوع نشست انواع لایه ها [۱]

Principal Soil Type	Type of Movement			
	Immediate	Consolidation	Creep	Swell
Rock	Yes	No	No	Some
Gravel	Yes	No	No	No
Sand	Yes	No	No	No
Silt	Yes	Minor	No	Yes
Clay	Yes	Yes	Yes	Yes
Organic	Yes	Minor	Yes	Yes

اگر حداکثر نشست بوجود آمده در سازه را با S_{max} و حداقل نشست آن را S_{min} بنامیم. نشست نسبی برابر $S_{max}-S_{min}$ و زاویه دوران برابر $(S_{max}-S_{min})/L$ که L طول المان نشست کرده می باشد، خواهد بود (شکل ۲). برای این پارامترها مقادیر مجاز در کلیه آیین نامه های ساختمانی (از جمله مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان [۲]) ارائه شده و لازم است ضمن شناسایی رفتار نشست پذیری خاک با توجه به نوع آن و شرایط محیطی مقادیر مربوطه نشست برآورد گردیده و با مقادیر مجاز ارزیابی گردد [۱].

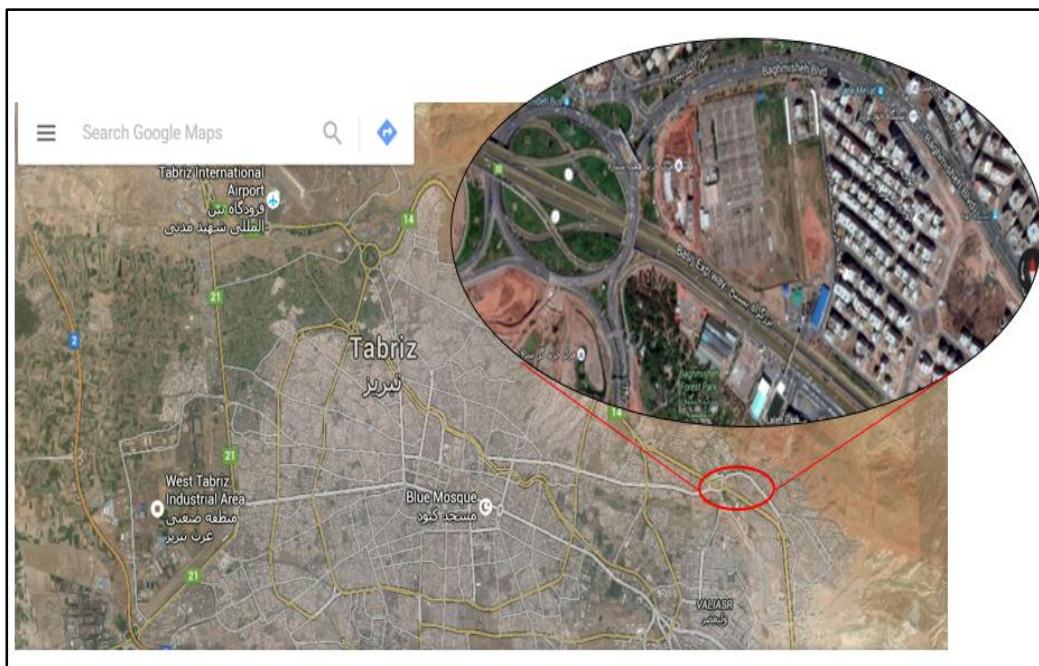


شکل ۲: مفهوم نشست نسبی و زاویه دوران سازه [۱]

شهر تبریز به عنوان یکی از کلانشهرهای بزرگ و مهم کشور، از نکته نظر ژئوتکنیکی از شرایط ویژه ای برخوردار می باشد. در برخی از مناطق این شهر بدلیل وجود لایه های ریزدانه و بالابودن تراز آب زیرزمینی، تعدادی از سازه ها دچار آسیب شده اند. کوی فرشته در شهرک باغمیشه از جمله این مناطق می باشد. در این منطقه که موقعیت آن بر روی شکل (۳) ارائه شده است، لایه های محل بدلیل توپوگرافی منطقه از خاکهای ریزدانه رسی سیلته ماسه ای در اثر جریانهای سیلابی بدون فشردگی و تحکیم یافتگی قابل توجه تشکیل یافته اند. از طرف دیگر نفوذ آبهای سطحی و بارش منطقه باعث جمع شدن آب در زیر پی ها و اشباع شدن لایه های مذکور شده (عمق آب کمتر از ۲ متر می باشد)، به نحویکه در اثر پی سازی غیر اصولی و عدم ملحوظ نمودن شرایط ژئوتکنیکی این لایه ها در طرح پی، انحراف در تعدادی از این سازه ها بوجود آمده است. نمونه ای از این سازه ها با نشست نسبی بالغ بر ۳۰ سانتی متر در شکل (۴) ارائه شده است. در این پروژه تحقیقی با حفاری یک حلقه گمانه ماشینی تا حدود ۱۰ متر به همراه گمانه دستی



تا عمق حدود ۵ متر (با توجه به بالا بودن عمق آب زیرزمینی) در منطقه مورد نظر و انجام آزمایشات صحرایی نفوذ استاندارد و آزمایشگاهی تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی و تحکیم نمونه های مایخوده نسبت به بررسی پتانسیل نشست پذیری لایه ها در کنار ارزیابی مقاومت گسیختگی آنها اقدام خواهد گردید.



شکل ۳: موقعیت کوی فرشته بر روی تصویر هوایی (Google earth) شهر تبریز



شکل ۴: نمونه ای از بروز نشست سازه ها کوی باغمیشه



۲-۱- پیشینه تحقیق

مشکلات بوجود آمده در مناطق مختلف دنیا از نکته نظر نشست سازه ها، زمینه مطالعات و تحقیقات محققان را در نقاط مختلف فراهم نموده است. موضوعات مرتبط با پدیده نشست و انواع آن در ادبیات فنی موجود در علم ژئوتکنیک تشریح گردیده و معیارهای کنترلی زیادی نیز جهت بررسی و محدود نمودن میزان نشست سازه ها در آیین نامه های مختلف ساختمانی از جمله مقررات ملی ساختمان کشورمان (مبحث هفتم) گنجانده شده است. درخصوص بررسی خصوصیات و مشکلات نشست پذیری مارن زرد و سبز رنگ تبریز تحقیقات قابل توجهی از جمله [۳-۶] انجام گرفته است. در سال ۲۰۱۳ توسط Shaaban و همکاران (۲۰۱۳) علت انحراف و کج شدن تعدادی از سازه های ساخته شده در حوضه آبریز رودخانه نیل مطالعه شده است. از روش تحلیل چند کاناله امواج $MASW^1$ رادار نفوذی GPR^2 و هدایت الکتریکی ERT^3 برای شناسایی لایه ها استفاده شده است. داده های رادار نفوذی، داده های تحلیل چند کاناله، داده های هدایت الکتریکی و نتایج گمانه های ژئوتکنیکی حفاری شده نشان می دهد که تا عمق ۱۵ متر رس سیلتی تا رس با میان لایه های ماسه ای با سرعت موج برشی پایین یا با مقاومت الکتریکی کم قرار داشته به نحویکه حتی نوع و ضخامت لایه ها حالت غیر همگنی داشته و این ناهمگنی در سختی و نشست پذیری نسبی پی تاثیر گذار بوده و باعث انحراف و خسارت این سازه ها گردیده است [۷].



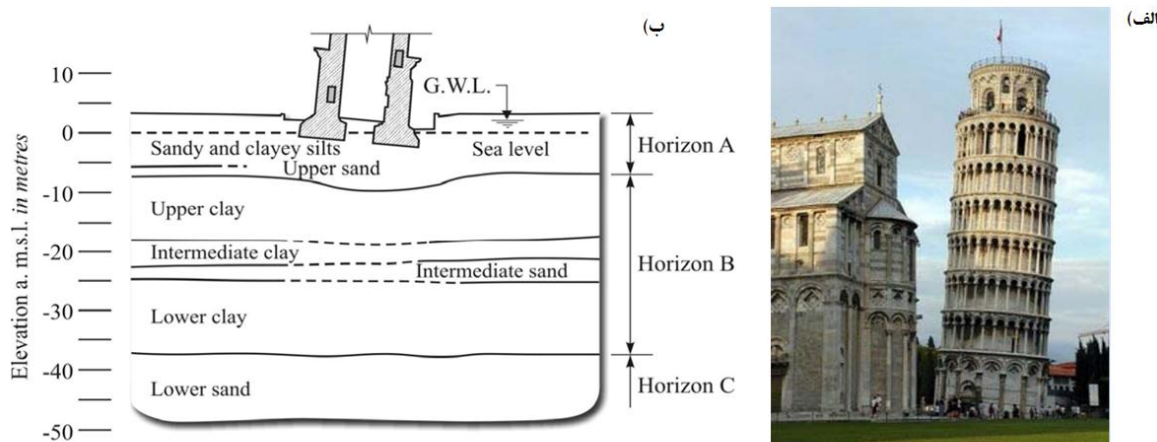
شکل ۵: انحراف ساختمان مورد مطالعه در اثر بروز نشست نسبی [۷]

یکی از نمونه های جالب و قابل توجه از آسیب سازه ها در اثر نشست لایه های ریزدانه اشباع، انحراف برج پیزا در کشور ایتالیا می باشد (شکل ۶-الف). تحقیقات گسترده ای در خصوص وضعیت ژئوتکنیکی زیر پی این سازه انجام گرفته است. به عنوان نمونه تحقیقاتی توسط Burland و همکاران (۲۰۰۹) در خصوص وضعیت این برج پس از عملیات پایدارسازی صورت گرفته است. لایه های زیر پی این سازه شامل سه نوع لایه مطابق شکل (۶-ب) می باشد. لایه ای از رسوبات دلتای رودخانه ای به ضخامت حدود ۱۰ متر شامل سیلت ماسه ای رسی تحت شرایط جزر و مد در زیر پی وجود دارد (لایه A). در زیر این لایه، لایه رسی نرم تحکیم یافته عادی تا عمق ۴۰ متری قرار داشته (لایه B) و در زیر این لایه نیز لایه ماسه دریایی متراکم تا عمق ۶۰ متر وجود دارد (لایه C). سطح آب زیر زمینی در تراز بین ۱ الی ۲ متری زیر پی یعنی ۳ متر بالای تراز آب دریا قرار دارد [۸].

¹ Multi-channel analysis of surface wave

² Ground penetrating radar

³ Electrical resistivity tomography



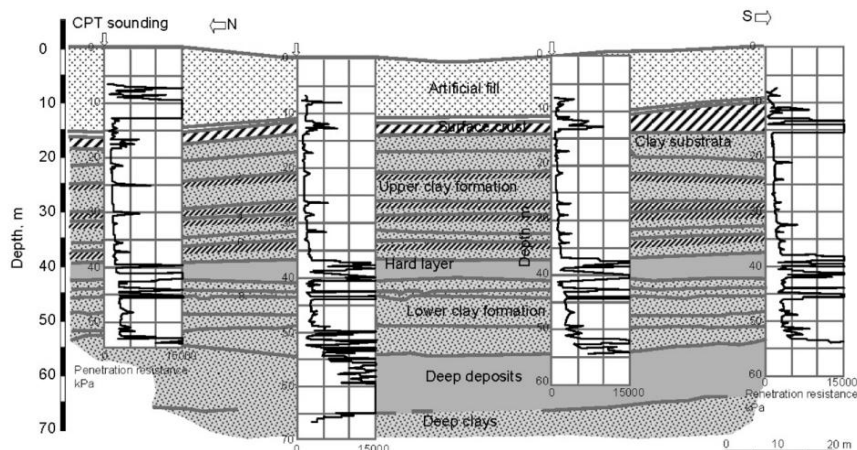
شکل ۶: وضعیت ژئوتکنیکی لایه های زیر پی برج پیزا [۸]

مطابق شکل (۷) در مرز بین دو لایه A و B وجود سطح مقعری به عمق ۳/۵ الی ۳ متر نشانگر بروز نشست تحکیم در لایه B ناشی از بار وارده پی برج می باشد. در سال ۱۹۹۰ با توجه با افزایش پیش رونده انحراف برج و احتمال فروپاشی سازه، دولت ایتالیا دستور تشکیل کمیته فنی و انجام اقدامات مقاوم سازی را صادر نمود [۸]. یکی از شهرهای مشهوری که با موضوع نشست خاک های ریزدانه دست به گریبان می باشد، شهر مکزیکوسیتی پایتخت کشور مکزیک می باشد. ساختمانهای بزرگ شهری از قبیل اکثر سازه های تاریخی مانند شکل شماره (۷) در داخل لایه رسی فرو رفته اند. نرخ نشست سالیانه بر اساس اندازه گیری ماهواره ای در نواحی مختلف بین ۵ الی ۴۰ سانتی متر در سال می باشد [۹].



شکل ۷: فرو رفتن سازه های تاریخی شهر مکزیکوسیتی در اثر نشست لایه های رسی اشباع [۹]

از نظر تاریخیچه زمین شناسی، قسمت بزرگی از شهر در منطقه دریاچه کم عمق قدیمی احاطه شده توسط کوههای آتشفشانی قرار دارد. در مدت حیات زیست محیطی این دریاچه، مصالح ریزدانه آتشفشانی با جریان آب و باد بداخل دریاچه حمل شده و آنرا پر نموده است. به مرور زمان این مواد در اثر تجزیه شیمیایی به رس و سیلتهای رسی تبدیل یافته اند. لذا این لایه ها مطابق مقطع زمین شناسی نشان داده شده در شکل (۸) عمدتاً شامل لایه رسی نرم با میان لایه های سیلت رسی متراکم و ماسه و دارای رطوبت بالا و قابلیت فشردهگی و نشست بالا می باشند. [۹].



شکل ۸: مقطع ژئوتکنیکی نواحی مرکزی شهر مکزیکوسیتی [۹]

۲- روش تحقیق

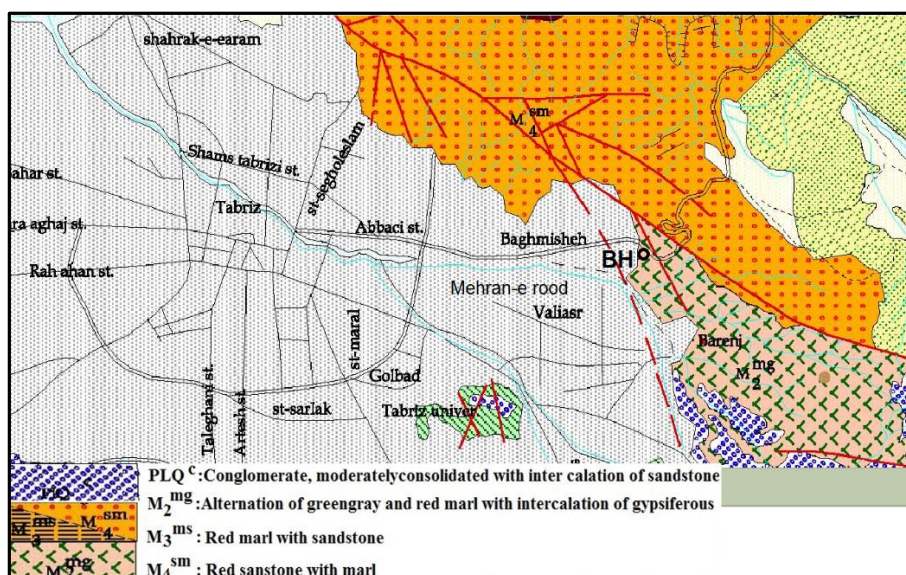
۲-۱- محدوده زمین شناسی تحقیق

انواع لایه های رسی و مارنی در قسمت های مختلف شهر تبریز گسترش یافته است. سن زمین شناسی این لایه ها به دوران میوسن و پلیوسن بر می گردد. بیشتر این لایه ها به بستر باغمیشه^۴ متعلق می باشد. از نظر زمین شناسی بستر باغمیشه بین بستر قرمز بالایی و بستر ماهی متعلق به دوران پلیوسن قرار می گیرد [۴]. این لایه ها در اثر حرکات تکتونیکی اواخر دوران سوم زمین شناسی^۵ دچار چین خوردگی و گسلش^۷ شده اند. گسل مشهور تبریز از شمال منطقه تحقیق عبور می کند. از جمله رودخانه های مهم منطقه مهران رود (یا قوری چای) است که از قسمت جنوبی محدوده تحقیق عبور می کند. سازه های آسیب دیده عمدتاً در منطقه کوی فرشته شمالی قرار گرفته اند لذا سعی شد تا محل حفاری و آزمایشات در محدوده سازه های مورد نظر در نظر گرفته شود. در این تحقیق یک گمانه ماشینی به همراه گمانه دستی و تهیه نمونه از هر یک متر عمق برنامه ریزی گردیده است. مطابق شکل (۹) گمانه تحقیقی در محدوده کوی فرشته شمالی در محدوده خاکهای رس سیلتی برون قرمز رنگ منطقه در نظر گرفته شده است. موقعیت گمانه ها در محدوده تقریباً زمین بکر و طبیعی از منطقه انتخاب گردیده است. جانمایی گمانه بر روی نقشه زمین شناسی مرجع نیز در شکل (۱۰) ارائه شده است.

⁴ Baghmishe bed⁵ Pasadonian orogeny⁶ Folding⁷ Faulting



شکل ۹: موقعیت گمانه تحقیقی (کوی فرشته شمالی تبریز)



شکل ۱۰: جانمایی گمانه تحقیقی (BH) بر روی نقشه زمین شناسی مرجع منطقه
(بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور)

۲-۲- مطالعات ژئوتکنیک انجام یافته

از هر عمق حدود ۱ متری یک نمونه دست نخورده جدار نازک^۸ تهیه شده و سپس آزمایش نفوذ استاندارد^۹ طبق استاندارد [۱۰] ASTM-D1586 انجام گردید. سطح آب زیرزمینی در محل بالا بوده و در زمان حفاری (مهرماه ۱۳۹۶) در حدود ۱۶۰ سانتی متری قرار دارد. به منظور تدقیق وضعیت لایه ها، یک چاه دستی نیز طبق شکل های (۱۱) و (۱۲) در نزدیکی محل گمانه حفر و مشخصات لایه ها تطبیق داده شد. نوع لایه ها عمدتاً از نوع رسی سیلتی با مقداری ماسه می باشد که از تراکم و فشردگی متوسط تا کم مخصوصاً در محدوده قرار گیری در زیر سطح آب زیرزمینی بر خوردار می باشد. به منظور بررسی وضعیت لایه ها نسبت به عمق با اخذ نمونه های

^۸ Shelby

^۹ Standard Penetration Test , SPT



دست خورده و دست نخورده، آزمایشات کاملی بشرح آزمایش دانه بندی مطابق استاندارد [۱۱] ASTM 422-63، تعیین چگالی ویژه [۱۲] ASTM D 854، تعیین درصد رطوبت [۱۳] ASTM D [2216، تعیین حد روانی و خمیری [۱۴] ASTM - 424- D423، مقاومت برشی مستقیم به روش تند [۱۵] ASTM-D3080، تحکیم [۱۶] ASTM-D2435 و طبقه بندی براساس [۱۷] ASTM-D-2487-93 انجام گرفته است.



شکل ۱۱: گمانه تحقیقی در کوی فرشته شمالی

(ب)



(الف)



شکل ۱۲: الف) سطح آب زیرزمینی بالا در چاه دستی حفاری شده ب) خاک حاصل از خاکبرداری چاه دستی



۳-۲- روش های تحلیل آماری و محاسباتی تحقیق

در این تحقیق با توجه به هدف آسیب شناسی مشکلات بوجود آمده در تعداد قابل توجهی از سازه های منطقه کوی فرشته شمالی در سالهای گذشته، پس از جمع بندی نتایج آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی کامل انجام یافته بر روی نمونه های دست نخورده از جمله آزمایشات زمانبر تحکیم در مراحل بارگذاری و بار برداری با تعیین ضرایب فشردگی (C_c) و تورم (C_s)، و فشار پیش تحکیم (P'_c) خاک، بانک اطلاعاتی کاملی از داده ها تهیه گردید. نرم افزارهای Excel و SPSS جهت تفسیر آماری و مقایسه و رسم نمودار تغییرات داده ها مورد استفاده قرار گرفت. پس از بررسی آماری و تحلیلی داده ها، تغییرات خصوصیات مهم نسبت به عمق لایه ها انجام شده و ارزیابی وضعیت ژئوتکنیکی لایه بندی منطقه ارائه می گردد. به منظور محاسبات ارزیابی ظرفیت باربری پی ها از تئوری هسن و برای ارزیابی پتانسیل تحکیم پذیری لایه ها نیز از تئوری تحکیم ترزاقی استفاده گردید. همچنین از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد بر اساس توصیه (Bowles, ۱۹۹۵) نیز مقاومت مجاز پی ها برآورد شده است [۱۸]. معیار کنترل کننده برای مقاومت مجاز وارده به لایه ها در منطقه مورد تحقیق جمع بندی و ارائه می گردد. در نهایت نتایج به منظور آسیب شناسی سازه های آسیب دیده مورد استفاده قرار گرفته است.

۳- نتایج و بحث

نتایج در سه بخش کلی شامل تفسیر آماری نتایج آزمایشات، محاسبات مقاومت باربری مجاز پی های سطحی بر اساس معیارهای مختلف، مقایسه و بحث بر روی نتایج تشریح می گردد.

۳-۱- تفسیر و بررسی نتایج

خلاصه و تفسیر آماری کلیه نتایج مطابق جدول (۲) توسط نرم افزار SPSS جمع بندی گردید. شاخص فشردگی لایه ها (C_c) در حدود ۰٫۱۲ الی ۰٫۱۵ بوده و با توجه به فشار پیش تحکیم تعیین شده بروش کازاگرانده، لایه ها از نوع تحکیم یافته عادی^{۱۰} می باشند. لاگ گمانه تحقیقی حفاری شده به همراه خلاصه نتایج آزمایشات انجام یافته در شکل (۱۳) ارائه شده است. وضعیت لایه ها با نتایج حاصل از حفاری چاه دستی نیز تطبیق داده شده است. نوع لایه ها بر اساس طبقه بندی یونیفاید در رده رس و سیلت با حد روانی کم (CL, ML) به همراه کمی ماسه می باشد. در عمق حدود ۴ الی ۵ متری یک لایه لنز ماسه ریزدانه با رده (SM) وجود دارد. وجود چنین لایه هایی باعث تسریع در بروز نشست تحکیم لایه ها در اثر بارگذاری پی ها گردیده است. سطح آب زیرزمینی در حدود ۱۶۰ سانتی متری نسبت به تراز طبیعی می باشد. جریانات زیرسطحی آب از ارتفاعات شمالی منطقه به سمت رودخانه مهرانه رود واقع در قسمت جنوبی منطقه زهکشی می شوند.

¹⁰ Normally consolidated



جدول ۲: تفسیر آماری نتایج لایه‌های خاک در محدوده گمانه حفاری شده

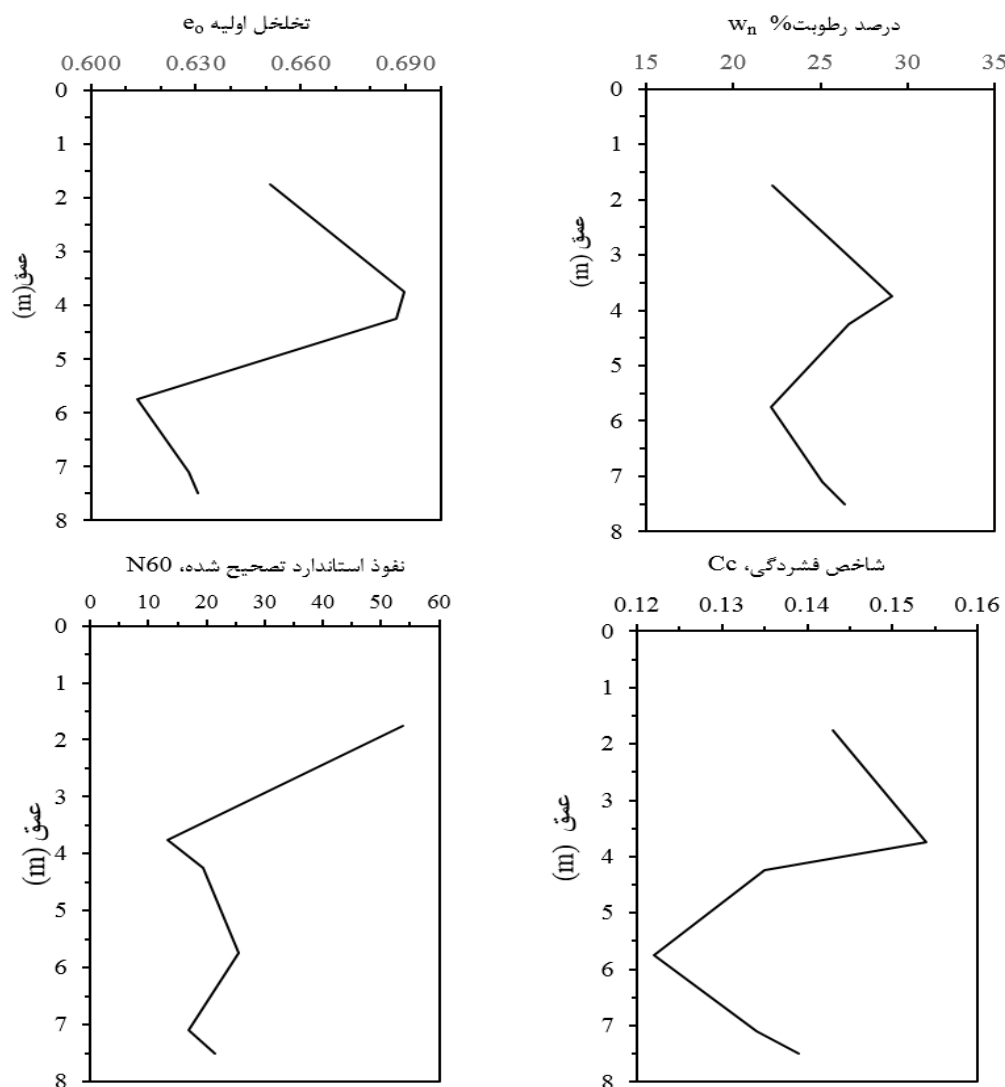
انحراف معیار	متوسط	حداکثر	حداقل	پارامتر خاک
۹/۵۱۷	۱۸/۹۲	۳۳/۴۹	۷/۱۳	درصد ذرات رسی % Clay
۱۷/۰۵	۶۱/۹۸	۷۵/۲۳	۲۸/۲۷	درصد سیلت % Silt
۲۲/۶۷	۱۹/۱۰	۶۴/۶۰	۳/۸۰	درصد ماسه % Sand
۶/۴۶	۳۸/۲۵	۴۷/۷۳	۳۰/۹۷	حد روانی % LL
۲/۱۴	۲۳/۸۶	۲۵/۸۱	۲۰/۳۳	حد خمیری % PL
۵/۲۴۴	۱۴/۴۰	۲۱/۹۲	۹/۲۲	دامنه خمیری % PI
۰/۰۸۰	۱/۶۱	۱/۶۹	۱/۴۸	دانسیتة خشک (gr/cc) γ_d
۲/۶۹	۲۲/۲۷	۲۲/۰۶	۲۲/۱۵	درصد رطوبت (%) m
۰/۰۵۰	۰/۶۶۸	۰/۰۶۹۰	۰/۶۱۳	تخلخل طبیعی e_0
۰/۰۱۱	۰/۱۳۸	۰/۱۵۴	۰/۱۲۲	شاخص فشردگی C_c
۰/۰۱۰	۰/۰۲۶	۰/۰۴۰	۰/۰۱۵	شاخص تورم C_s
۰/۰۶۴	۰/۰۵۲۳	۰/۰۶۰	۰/۰۴۲	فشار پیش تحکیم P'_c
۱۴/۸۴	۲۴/۸۳	۵۴/۰۰	۱۳/۰۰	نفوذ استاندارد N_{60}

لاگ گمانه																		
آدرس پروژه: کوی فرشته شمالی																		
تاریخ حفر گمانه: ۹۶/۷/۲۳																		
شماره گمانه: BH1																		
تراز آب زیرزمینی: 1.6 m																		
عمق گمانه: 8m																		
IDENTIFICATION		CLASS	ATTERBURG LIMITS			MOISTURE	DENSITY			Consolidation test			SPT				STRENGTH	
DEPTH (m)	DESCRIPTION	SOIL TYPE	LL %	PL %	PI %		BULK	DRY	e _o	Cc	Cs	P _c kg/cm ²	n1	n2	n3	N	DIRECT SHEAR	
							%	gr/m ³									gr/m ³	φ
1	خاک دستی	خاک دستی											15	17	16	33		
W.S.																		
2	رس سیلتی یا کمی ماسه	CL	30.97	20.33	20.64	22.3	1.93	1.58	0.651	0.143	0.015	0.60					15	0.38
3	سیلت رسی	ML	37.12	24.41	12.71	29.1	2.01	1.56	0.690	0.154	0.021	0.55	7	6	6	12		
4																	6	0.27
5	ماسه ریز دانه سیلتی	SM	NP	NP	NP	26.6	2.02	1.60	0.687	0.135	0.017	0.5	7	8	18	26		
6			41.73	23.56	17.49	22.2	2.06	1.69	0.613	0.122	0.029	0.57	6	8	9	17		
7	رس سیلتی	CL-ML	47.73	25.81	21.92	25.1	2.08	1.66	0.628	0.134	0.034	0.5					7.5	0.4
8			34.39	25.17	9.22	26.4	2.12	1.67	0.631	0.139	0.04	0.42	7	11	13	24		
9																		
10																		

شکل ۱۳: لاگ گمانه تحقیقی



تغییرات پارامترهای مهم خاک شامل درصد رطوبت، تخلخل، شاخص فشردگی و عدد نفوذ استاندارد تصحیح شده نسبت به عمق گمانه در شکل (۱۴) رسم شده است. با افزایش عمق، درصد رطوبت افزایش می یابد که این موضوع به دلیل قرار گرفتن در زیر سطح آب زیرزمینی می باشد. تخلخل اولیه نمونه ها (e_0) در این محدوده و تا عمق حدود ۵ متری افزایش یافته و شاخص فشردگی خاک و پتانسیل نشست پذیری نیز افزایش یافته است. از این عمق به بعد با توجه به تغییر نوع لایه به رسی سیلتی و کاهش درصد ماسه ریز در لایه ها و با کاهش نفوذ پذیری، اندکی از درصد رطوبت نیز کاسته می شود. این موضوع باعث افزایش جزئی در مقاومت لایه و عدد نفوذ استاندارد گردیده است. لذا چنانکه ملاحظه می شود تغییرات پارامترهای مهم خاک نسبت به عمق با هم تطابق خوبی دارد. در هر حال با توجه به نوع لایه ها و قرار گیری در زیر آب زیر سطحی پتانسیل نشست پذیری تحکیم قابل توجه می باشد.



شکل ۱۴: تغییرات پارامترهای مهم خاک نسبت به عمق گمانه



۳-۲- تعیین مقاومت مجاز پی ها

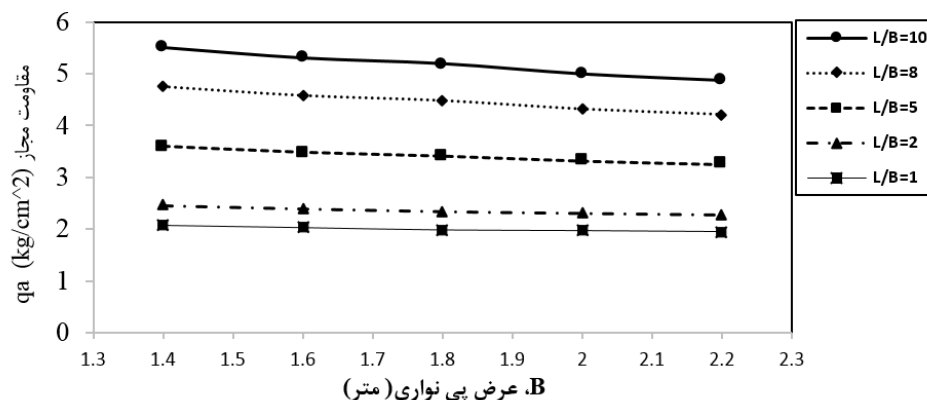
مقاومت مجاز پی ها با توجه به دو معیار گسیختگی خاک و نشست مجاز تعیین می گردد. بر اساس دو معیار فوق حداقل تنشی که هم از نکته نظر مقاومت مجاز گسیختگی خاک و هم با توجه به محدودیت نشست مجاز بدست می آید، مقاومت مجاز پی خواهد بود. به منظور مقایسه نتایج و به همراه دو معیار گفته شده از برآورد مقاومت مجاز با استفاده از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد نیز استفاده شده است.

۳-۲-۱- مقاومت مجاز بر اساس ظرفیت باربری گسیختگی خاک

با توجه به میانگین وزنی پارامترهای مقاومتی لایه ها بر حسب ضخامت هرلایه، با استفاده از تئوری هسنن با اعمال ضریب اطمینان ۳، مقاومت مجاز برای پی های نواری با در نظر گرفتن نوع پی های سازه های آسیب دیده در محدوده تحقیق محاسبه گردید. زاویه اصطکاک معادل $10/5^\circ$ درجه و چسبندگی معادل لایه ها برابر $0/37$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع تعیین شد. محاسبات برای پی های نواری با نسبت های مختلف $L/B=1,2,5,8,10$ و تغییرات عرض پی از $1,4$ تا $2,2$ متری انجام شده و خلاصه نتایج در جدول (۳) ارائه شده است. محاسبات با توجه به تاثیر تراز آب زیرزمینی انجام شده است. تغییرات مقاومت بر حسب عرض پی های نواری در نمودارهای شکل (۱۵) ترسیم شده است. چنانچه ملاحظه می شود حداقل مقاومت مجاز از حدود 2 کیلوگرم بر سانتی متر مربع کوچکتر نمی باشد که در شرایط بارگذاری یک سازه تا 5 طبقه بتنی می تواند پاسخگو باشد.

جدول ۳: مقاومت مجاز پی های نواری بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع بر اساس معیار گسیختگی هسنن

L/B $B(m)$	10	8	5	2	1
1.4	5.52	4.75	3.60	2.46	2.08
1.6	5.31	4.58	3.49	2.40	2.03
1.8	5.20	4.48	3.41	2.34	1.99
2	4.99	4.32	3.32	2.31	1.98
2.2	4.86	4.22	3.25	2.28	1.96



شکل ۱۵: تغییرات مقاومت مجاز بر اساس معیار گسیختگی هسنن

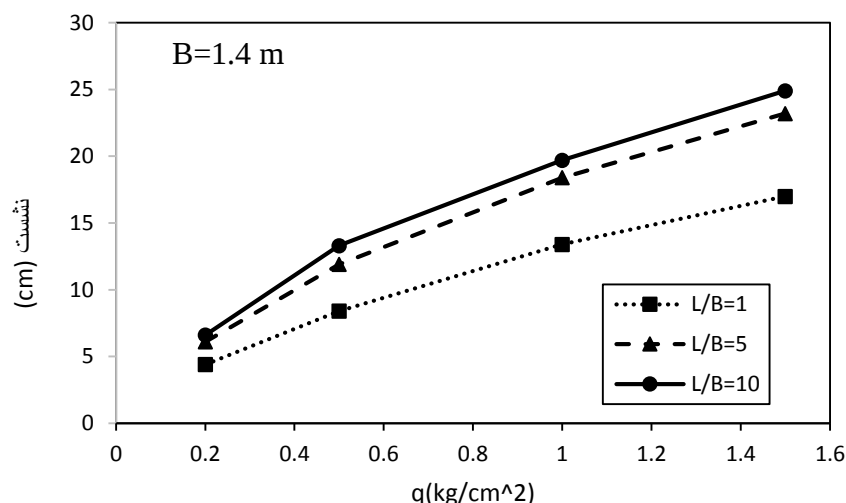


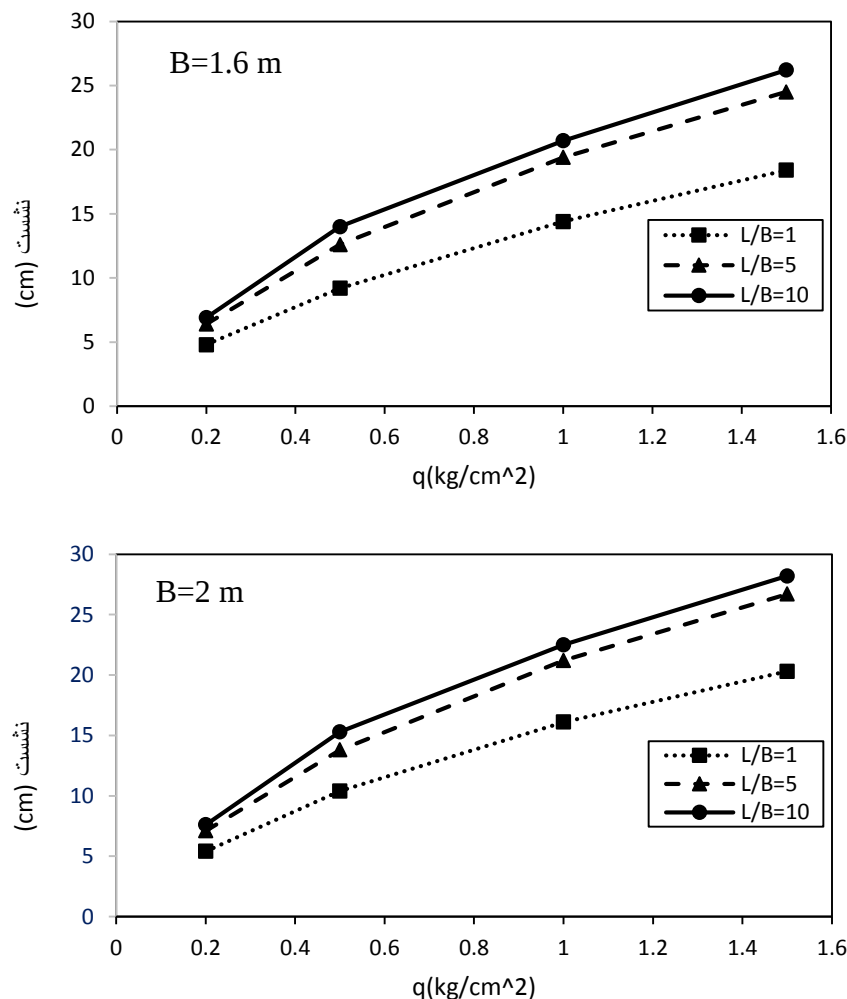
۳-۲-۲- مقاومت مجاز براساس محدودیت نشست مجاز پی های نواری

با توجه به پروفیل لایه‌های محدوده تحقیق نوع لایه ها عمدتاً از خاکهای ریزدانه چسبنده شامل رس و سیلت با خاصیت خمیری کم (ML, CL) همراه با کمی ماسه ریزدانه می‌باشد. سطح آب زیرزمینی بالا بوده و با احتساب یک متر عمق پی کنی در حدود ۶۰ سانتی متری زیر پی ها قرار می گیرد. لذا عمده نشست لایه‌های زیر پی از رفتار نشست تحکیم و در حالت تحکیم یافتگی عادی تبعیت خواهد کرد. از این رو مبنای محاسبات نشست در این بخش قرار گرفته است. به عنوان نمونه جزئیات محاسبه نشست تحکیم و درنظر گرفتن تنش موثر هر لایه برای یکی از حالت‌های مورد بررسی (عرض پی برابر ۱٫۴ متر) در جدول (۴) ارائه شده است. منحنی تغییرات نشست کلیه حالت‌های مورد بررسی در شکل‌های (۱۶) ترسیم شده است.

جدول ۴: خلاصه جزئیات محاسبه نشست تحکیم برای یکی از حالت‌های مورد بررسی

L/B=۱, B=۱٫۴, q=۰٫۲ kg/cm ^۲										
S (cm)	افزایش تنش متوسط لایه				عمق (متر)			H ₀ (cm) ضخامت اولیه	C _c شاخص فشرده‌گی	e ₀ تخلخل اولیه
	Δσ _{ave}	Δσ _b	Δσ _t	Δσ _{at}	عمق پایین لایه Z _b	عمق مرکز لایه Z _c	عمق بالای لایه Z _t			
۲٫۹۹۰	۰٫۱۱۷	۰٫۰۶۸	۰٫۱۱	۰٫۲	۱	۰٫۵	۰	۱۰۰	۰٫۱۴۳	۰٫۶۵۱
۱٫۱۴۷	۰٫۰۳۷	۰٫۰۲۰	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۳	۲	۱	۲۰۰	۰٫۱۵۴	۰٫۶۹
۰٫۱۶۲	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۴	۳٫۵	۳	۱۰۰	۰٫۱۳۵	۰٫۶۸۷
۰٫۱۶۲	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۶	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۷	۵٫۵	۴	۳۰۰	۰٫۱۳۲	۰٫۶۲۴
۴٫۴۴۲										





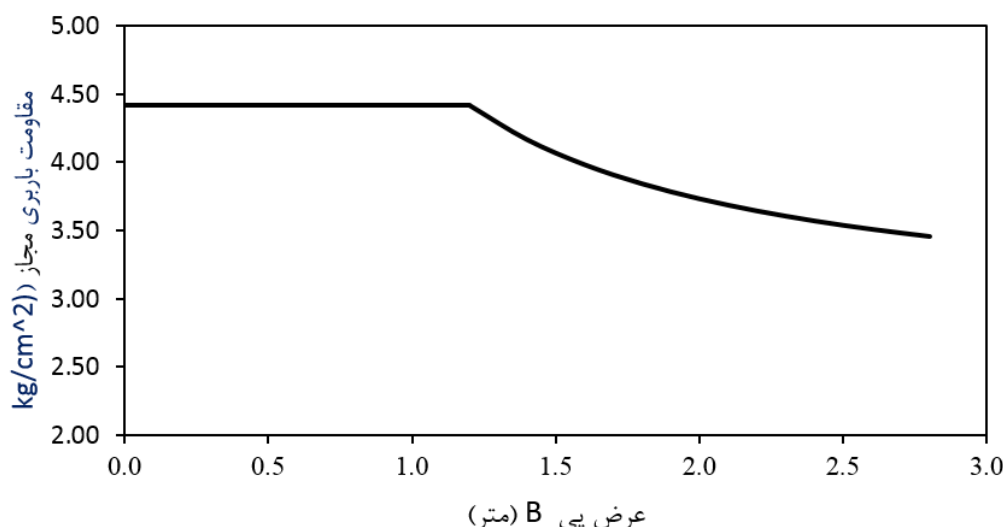
شکل ۱۶: تغییرات نشست کل تحکیمی پی های نواری به عرضهای مختلف (B=1.4,1.6,2m)

چنانچه ملاحظه می گردد برای مقدار تنش وارده حدود ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع ، مقدار نشست کل ناشی از تحکیم لایه های زیر پی بالغ بر ۲۰ سانتی متر بوده که از مقدار مجاز توصیه شده برای پی های نواری (یک اینچ یا ۲/۵ سانتی متر) فراتر می باشد. این نشست کلی که بدلیل نشست محدود گوشه پی، به صورت عمدتاً نشست نسبی بین مرکز طول پی نواری و گوشه بوجود می آید در عمل باعث بروز ترکهای قابل توجه در المانهای غیر سازه ای مانند دیوارها شده و حتی می تواند بر روی عملکرد آسانسورها تاثیر گذار می باشد. به عبارت دیگر با توجه به نمودار تغییرات ارائه شده، لازم است مقدار مقاومت مجاز پی های نواری با در نظر گرفتن معیار نشست تحکیمی بسیار محدود تر و در حدود ۰/۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع منظور شود که برای سازه های موجود ناکافی می باشد. لذا راهکار مناسب برای طرح پی در این منطقه لازم می باشد. بررسی و مقایسه نتایج و جمع بندی مربوطه در بخش های بعدی انجام خواهد شد.



۳-۲-۳- مقاومت مجاز پی های نواری براساس معیار عدد نفوذ استاندارد

آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) یکی از آزمایشات متداول و قدیمی در مطالعات و تحقیقات ژئوتکنیکی یک منطقه می باشد. نتایج مقاومت مجاز بر اساس معیار نفوذ استاندارد به ازای عرض های مختلف پی نیز در شکل (۱۷) ارائه شده است. چنانچه ملاحظه می شود بر اساس این معیار، مقاومت حداقل پی های نواری برابر حدود ۳٫۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بدست می آید که در مقایسه با معیارهای بررسی شده بالاتر بوده و لذا برای تعیین مقدار مقاومت مجاز پی کنترل کننده نمی باشد.



شکل ۱۷: تغییرات مقاومت مجاز پی های نواری بر اساس عدد نفوذ استاندارد لایه ها

۳-۳-۳- بحث و نتیجه گیری

با درنظر گرفتن سه معیار گسیختگی خاک طبق تئوری هنسِن، کنترل حداکثر نشست مجاز بر اساس پدیده تحکیم و معیار مقاومت مجاز بر اساس نفوذ استاندارد، مقایسه و جمع بندی نتایج برای حالت رفتار کاملاً نواری پی ($L/B=10$) در جدول (۵) ارائه شده است. چنانچه ملاحظه می گردد حداقل مقاومت از معیار نشست تحکیم لایه ها تبعیت می کند. با محدود نمودن نشست کل پی به مقدار یک اینچ ($2/5$ سانتی متر) مقاومت مجاز به حدود $0/2$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع محدود می گردد. در صورت اعمال تنش $1/5$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع که تقریباً معادل تنش سازه های موجود در منطقه می باشد، مقدار نشست کل پی به مقداری بالغ بر 20 سانتی متر می رسد که باعث بروز ترک در المانهای غیر سازه ای مانند دیوارها و کف ها، ایجاد مشکلات در باز شوها و حتی عملکرد آسانسور می گردد. که در عمل در سازه های آسیب دیده شاهد تقریباً بروز این نشست بوده و دلیل اصلی مشکلات مربوط به بروز نشست تحکیمی بیش از مقدار نشست مجاز پی ها می باشد.



جدول ۵: حداقل مقاومت مجاز پی نواری با توجه به معیار های مختلف بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع

معیار نفوذ استاندارد	نشست تحکیم	معیار گسیختگی هنسن	B(m)
۴/۱۷	۰/۲	۵/۵۲	۱/۴
۳/۹۸		۵/۳۱	۱/۶
۳/۸۴		۵/۲۰	۱/۸
۳/۷۳		۴/۹۹	۲
۳/۶۴		۴/۸۶	۲/۲

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

- با توجه به اینکه، روش متداول ارزیابی پدیده نشست تحکیمی مستلزم حفاری گمانه به تعداد کافی، تهیه نمونه های دست نخورده، برآورد خصوصیات ژئوتکنیکی خاک و انجام آزمایش زمانبر تحکیم می باشد که با صرف هزینه و زمان قابل توجه مخصوصاً در پروژه های عمرانی با گستره وسیع همراه می باشد. لذا متأسفانه در عمل به موضوع نشست تحکیم به طور کافی توجه نشده و در نتیجه آسیب ها و خسارت در پروژه های عمرانی ناشی از وقوع این نشست نیز قابل توجه می باشد.
- در محدوده موردتحقیق نیز مقاومت مجاز پی های نواری (با توجه به نوع پی های سازه های آسیب دیده) بر اساس معیارهای گسیختگی هنسن، نفوذ استاندارد و محدود نمودن نشست کل پی به ۲,۵ سانتی متر تعیین گردید. که به طور قابل توجهی پتانسیل نشست تحکیمی در محدوده تحقیق بالا بوده و کنترل کننده مقاومت مجاز پی ها می باشد. لذا مقاومت مجاز پی های نواری در محدوده تحقیق کم بوده و به حدود ۰,۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع محدود می گردد که برای تنش های وارده سازه های موجود (عمدتاً ۴ و ۵ طبقه با برآورد تنش حدود ۱,۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) نا کافی بوده و علت اصلی آسیبهای وارده به سازه های موجود اثرات بروز نشست های تحکیم می باشد.
- وجود لنزهای ماسه ای در بین لایه های رسی سیلتی ، عملاً ضمن افزایش پتانسیل تحکیم لایه ها باعث تسریع در بروز نشست تحکیم می گردد.
- با توجه به وضعیت ژئوتکنیکی خاص منطقه، نوع لایه های رسی و سیلتی با روانی پایین و سطح بالای آب زیرزمینی لزوم انجام مطالعات ژئوتکنیکی کافی با انجام آزمایش تحکیم را ایجاب می کند. لذا به عنوان اولین و مهمترین موضوع در طراحی پی در محدوده مورد مطالعه، انجام مطالعات ژئوتکنیکی و انجام آزمایشات کافی مخصوصاً تحکیم تاکید می شود.
- با توجه به افزایش نسبی مقاومت در عمقهای بیش از ۶ متری استفاده از پی های عمیق برای انتقال تنش به لایه های عمقی برای سازه های معمول می تواند به عنوان یک راهکار اولیه مورد نظر قرار گیرد. در هر حال کلیه طراحی ها باید در حضور سطح آب زیرزمینی انجام شود در صورت عمق پی کنی بیشتر از حدود ۱,۵ متر ، نیاز به طراحی سیستم زهکشی برای کاهش سطح آب زیرزمینی وجود دارد.



۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله لازم می دانند از کمیته پژوهش سازمان نظام مهندسی استان آذربایجان شرقی برای حمایت‌های مالی صورت گرفته از طرح تحقیقاتی با عنوان "آسیب شناسی ژئوتکنیکی کوی فرشته تبریز" کمال تشکر و قدردانی را نمایند..

۶- مراجع

- [1]-Prasad S. K. (2018) Foundation Settlement. College of Engineering, Mysore sjce.ac.in/wp-content/uploads.
- [2]- National Bureau of Standards, Department of Housing and Urban Development (2013) National Building Regulations - Seventh part. Ministry of Roads and Urban Development Islamic republic of Iran (in persian).
- [3]- Sadrekarimi J., Zekri A.(2006) Creeping behavior of fine-grained soils based on visco-elastic models. Journal of Engineering Faculty of Tabriz, Vol.33, No.3.(in persian).
- [4]-Hooshmand A., Aminfar M. H., Asghari E., Ahmadi H., (2012) Mechanical and Physical Characterization of Tabriz Ma, Iran. Geotechnical Geology Engineering, Vol.30, pp219-232.
- [5]-Sadrekarimi J., Akbarzad M.(2009) Comparative Study of Methods of Determination of Coefficient of Subgrade Reaction. EJGE.
- [6]- Ghobadi M. H., Babazadeh R. Mousivand M.(2012) Engineering geological investigations along the Tabriz subway extension focusing on ground surface settlement, northwestern Iran. Journal of Engineering Geology, Vol.6, No.2.
- [7]- Shaaban F., Ismail A. Massoud U., Mesbah H., Lethy A., Mohamed A.(2013) Geotechnical assessment of ground conditions around a tilted building in Cairo–Egypt using geophysical approaches. Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences.
- [8]- Burland J. B., Jamiolkowski M. B, Viggiani C. (2009) Leaning Tower of Pisa: Behavior after Stabilization Operations. International Journal of Geoengineering Case Histories ©, Vol. 1, Issue 3, p .156.
- [9]- Ovando E , Alexandra Ossa S., Romo M. P.(2007) The sinking of Mexico City: Its effects on soil properties and seismic response. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 27. 333–343.
- [10]- American Society for Testing and Materials, ASTM D1586–11 (2014) Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils West Conshohocken, PA, USA.
- [11]- American Society for Testing and Materials. ASTM D 422-63(2007). Standard test method for particle size analysis of soils. West Conshohocken, PA, USA.
- [12]- American Society for Testing and Materials. ASTM D 854(2014). Standard test method for specific gravity of solids by water pycnometer. West Conshohocken, PA, USA.
- [13]-American Society for Testing and Materials. ASTM D 2216(1998). Standard test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. West Conshohocken, PA, USA.
- [14]- American Society for Testing and Materials. ASTM D 4318-93(2004). Standard test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils. West Conshohocken, PA, USA.
- [15]- American Society for Testing and Materials. ASTM D3080 (2008). Standard test method for Direct Shear strength. West Conshohocken, PA, USA.
- [16]- American Society for Testing and Materials. ASTM D 2435-03(2011). Standard test method for one-dimensional consolidation properties of soils using incremental loading. West Conshohocken, PA, USA.
- [17]- American Society for Testing and Materials. ASTM D 2487-93(2011). Standard classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system). West Conshohocken, PA, USA.
- [18]- Bowles J.E.(1995) Foundation Analysis and Design. MC Grow Hill.