

مدیریت بحران در نشست های ساختمانی

نمونه‌ی موردی: شهر تهران

علی اکبر تقوایی* - دانشیار گروه شهرسازی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، taghvae@modares.ac.ir
سکینه معروفی - دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکده هنر و معماری دانشگاه تربیت مدرس تهران، s-maroo@modares.ac.ir
معصومه رشتبری - کارشناس گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری دانشگاه تربیت مدرس تهران، rashtbari@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۲/۹ | تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۱۵

چکیده

شهر تهران به دلیل موقعیت جغرافیایی خود یکی از شهرهای در معرض خطر کشور ایران است. توجه به مدیریت بحران های احتمالی که شهر تهران را به طور بالقوه تهدید می کند از رسالت های اصلی مسئولین و دست اندرکاران عرصه های علمی، اجرایی و سیاست گذاری در این شهر محسوب می شود. در سال های اخیر نمونه های متعددی از خسارت های مالی و جانی ناشی از فرونشست زمین و نشست ساختمانی در زیرساخت ها و ساخت و سازهای شهر تهران شاهد بوده ایم. علت این امر را می توان وجود خاک های مسئله دار، سطح آب های زیرزمینی، ریزش میله ای و انباری چاه های دفع فاضلاب و قنات ها دانست. به این دلیل اخیراً به منظور جلوگیری از مخاطرات ناشی از این گونه حوادث، مطالعات ژئوتکنیک قبل از هر گونه ساخت و ساز در شهر تهران لازم الاجرا شده است. هدف از این مقاله تشریح ضرورت و نحوه انجام این مطالعات در ساخت و سازهای شهری به ویژه در شهر تهران است. سؤال اصلی تحقیق عبارت از این است که مطالعات ژئوتکنیکی چه نقشی در کاهش مخاطرات ناشی از نشست زمین در مناطق شهری می تواند داشته باشد. فرضیه ی تحقیق نیز عبارت از این است که میان انجام مطالعات ژئوتکنیکی و کاهش فرونشست زمین و نشست های ساختمانی ارتباط معناداری وجود دارد. این تحقیق با روش مطالعات کتابخانه ای و تحلیل اسناد، مدارک و گزارش های موجود در خصوص بررسی های ژئوتکنیکی انجام پذیرفته است. نتایج تحقیق حاکی از وجود ارتباط معناداری میان انجام مطالعات ژئوتکنیکی و کاهش نشست های ساختمانی است.

واژه های کلیدی: مدیریت بحران، نشست های ساختمانی، مطالعات ژئوتکنیکی، تهران

Crisis Management in Sinking of Buildings

Case Study: The City of Tehran

Ali Akbar Taghvae¹, Sakineh Maroo², Masoumeh Rashtbari³

Abstract

Tehran is one of the high risk cities in natural and man-made disasters. This city has a special condition due to its especial location and increasing urban development. Crisis management is the process by which an organization deals with a major event that threatens and harms the general public. There are possibilities of incidence of many disasters in Iran particularly in Tehran such as sinking and subsiding ground in buildings. In order to prevent the impacts of these problems, conducting comprehensive investigation before any urban construction is important. Geotechnical studies are to be performed to obtain information on the physical properties of soil and rock around the site to design earth-works and foundations for proposed structures and for repairing the distress to earth-works and structures which may take place in special conditions. For Tehran like other places, geotechnical studies and buildings structural design have to be prepared before issuing any permission for construction process. The hypothesis of the research is that, there is a meaningful relation between geotechnical studies and decreasing of ground subsidence in urban development. This study has been conducted through literature review and analyzing the available documents and reports on geotechnical investigations. Obtained results indicate a significant relationship between performing the geotechnical studies and reduction of building sinkings.

Keywords: Crisis Management, Ground Subsidence, Geotechnical Investigations, Tehran

1 Associate Professor at Urban Planning Department, Tarbiat Modares University
2 Research Scholarship in Urban Planning, Tarbiat Modares University
3 Expert of Urban Planning in Tarbiat Modares University

۲۳

شماره اول
بهار و تابستان
۱۳۹۱

دوفصلنامه
علمی-پژوهشی



مقدمه

کتابخانه‌ای و تحلیل اسناد و مدارک و گزارش‌های موجود در خصوص بررسی‌های ژئوتکنیکی انجام پذیرفته است. در این مقاله ضمن تشریح مفهوم مدیریت بحران، ابعاد و فرآیندهای عملیاتی آن به توضیح پدیده‌ی نشست‌های زمین نیز اشاره شده و سپس روش ژئوتکنیک به عنوان ابزاری در زمینه‌ی جلوگیری و کنترل آثار مخرب ناشی از نشست زمین مطرح شده است. در ادامه، شهر تهران به عنوان منطقه‌ی مورد مطالعه انتخاب شده و سعی شده است که براساس شواهد و نمونه‌های ارائه شده و فرضیه‌ی تحقیق مورد آزمون قرار گیرد.

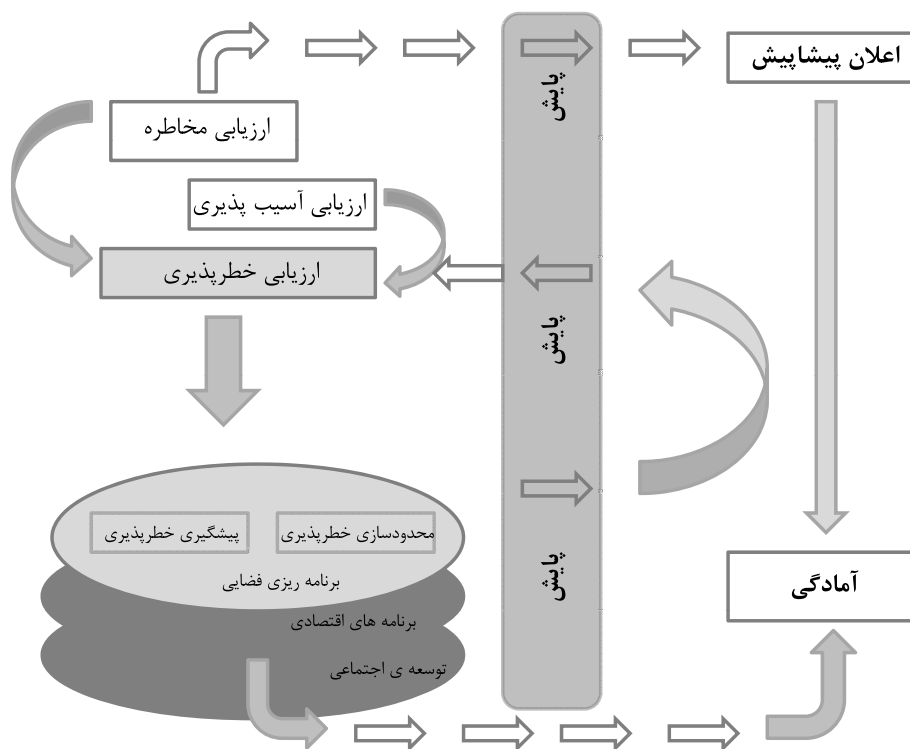
مدیریت بحران

دانش مدیریت بحران شهری به مجموعه فعالیت‌هایی اطلاق می‌شود که قبل، بعد و هنگام وقوع بحران، جهت کاهش اثرات حوادث و کاهش آسیب‌پذیری انجام گیرد. این موضوع ارتباط خاصی با مباحث برنامه‌ریزی شهری، مدیریت شهری و مطالعات جغرافیایی دارد. [۱] مدیریت بحران‌های شهری ترکیبی از مسایل مدیریتی و برنامه‌ریزی شهری است، که هدف آن هماهنگی بین برنامه‌ریزی و کنترل طرح‌ها و برنامه‌های شهری است، به گونه‌ای که تدوین و اجرای این برنامه‌ها به شیوه‌های مطلوب صورت گیرد. [۲] بنابراین می‌توان گفت مدیریت بحران شامل مجموعه فعالیت‌های اجرایی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و سیاسی وابسته به مراحل مختلف و تمامی سطوح بحران در جهت نجات، کاهش ضایعات و خسارات، جلوگیری از وقفه‌ی زندگی، تولید و خدمات و حفظ ارتباطات است. فعالیت‌های مدیریت بحران در چهار مرحله‌ی پیش‌گیری، آمادگی، مقابله و بازسازی قابل دسته‌بندی هستند. پیش‌گیری یکی از مراحل چهارگانه‌ی مدیریت بحران است که به نظر می‌رسد اقدامات برای جلوگیری از فرونشست زمین نیز در این مرحله انجام می‌شود.

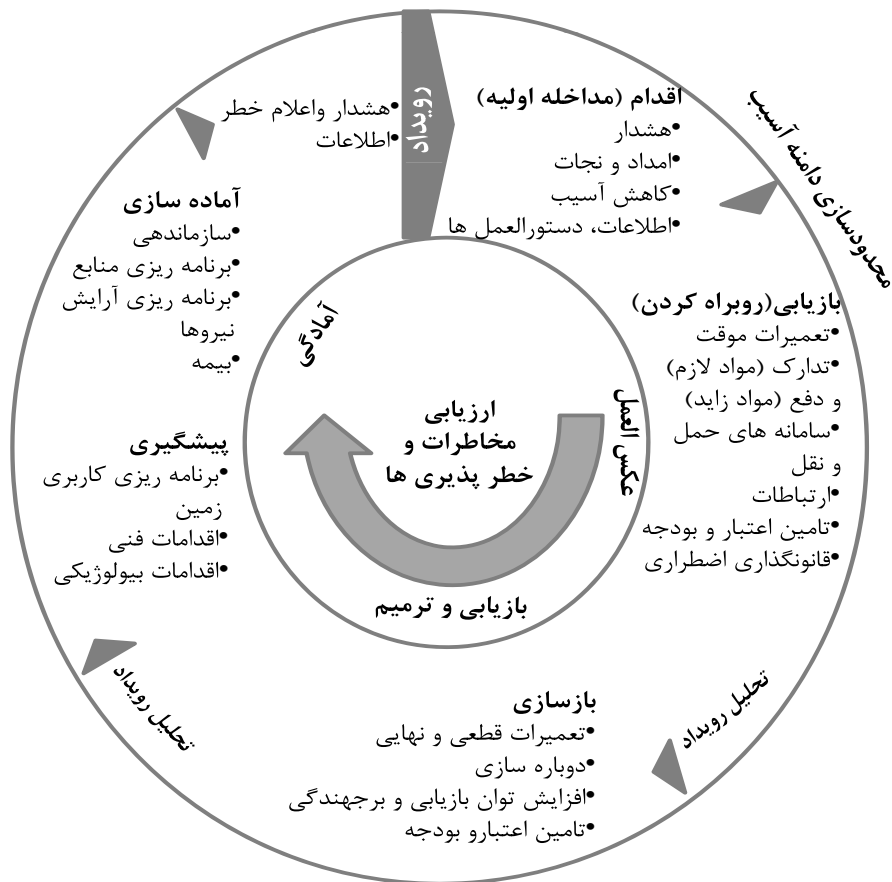
زندگی اجتماعی انسان و محیط‌های شهری همواره با مخاطرات متعدد طبیعی و مصنوع دست به گریبان است. این مخاطرات به عنوان تهدیدهای جدی در زندگی انسان‌ها و محیط‌های انسانی مطرح بوده‌اند. علیرغم پیشرفت‌های فزاینده‌ی علوم و تکنولوژی، وقوع حوادث و رخدادهای طبیعی و مصنوع هر ساله خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را به جوامع انسانی وارد می‌نماید. وقوع این رخدادهای غیرمترقبه به عنوان بحران‌های جوامع انسانی مطرح شده‌اند. در دهه‌های اخیر علم مدیریت بحران به عنوان دانشی برای پیش‌گیری، آمادگی و مقابله با بحران‌های متعددی که جوامع بشری را تهدید می‌کند مطرح شده است. کشور ایران نیز در زمره‌ی کشورهای پر مخاطره‌ی جهان قرار گرفته است، مخاطراتی چون زلزله، سیل، نشست‌های زمین و رانش آن.

نشست زمین و نشست ساختمانی یکی از مخاطراتی است که در شهرها به ویژه کلان‌شهر تهران به عنوان یکی از مشکلاتی که زیرساخت‌ها و ساخت و سازهای شهری را تهدید می‌کند، مطرح است. لزوم پرداختن به موضوع نشست‌های زمینی در تهران به دلیل شرایط خاص این شهر و به لحاظ وجود قنات‌های متعدد، کم بودن سطح آب‌های زیرزمینی و سستی خاک (در برخی از نقاط این شهر) از اهمیت بالایی برخوردار است.

هدف از این مقاله تشریح ضرورت و نحوه‌ی انجام مطالعات ژئوتکنیکی در ساخت و سازهای شهری و نحوه‌ی انجام آن در شهر تهران است. سؤال اصلی تحقیق عبارت از این است که مطالعات ژئوتکنیکی چه نقشی در کاهش مخاطرات ناشی از نشست زمین در مناطق شهری می‌تواند داشته باشد. فرضیه‌ی تحقیق نیز عبارت از این است که میان انجام مطالعات ژئوتکنیکی و کاهش نشست‌های ساختمانی ارتباط معناداری وجود دارد. این تحقیق با روش مطالعات



تصویر شماره‌ی (۱): فرآیند مدیریت خطرپذیری، [۳]



تصویر شماره ۲: مراحل اصلی در چرخه مدیریت بحران، [۶]

پیش‌گیری^۱

عبارت از فعالیت‌هایی برای اجتناب از تأثیر زیان‌بار مخاطرات و کاهش بلایای زیست‌محیطی، تکنولوژیک و بیولوژیک مرتبط بر پایه‌ی امکان‌پذیری اجتماعی و فنی و ملاحظات هزینه/فایده، سرمایه‌گذاری در اقدامات پیش‌گیرانه در نواحی تحت تأثیر بلایا است. حکومت‌های محلی، در اجرای اقدامات پیش‌گیری از مخاطرات، کارآمدتر هستند. توسعه و تدوین طرحی مناسب برای پیش‌گیری از مخاطرات، بر این سه فرآیند عمده استوار است: تجزیه و تحلیل میزان آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات؛ توسعه و تدوین راهبرد پیش‌گیری از بلایا؛ و یکپارچگی و درآمیختن طرح مورد نظر با طرح‌های جامع و سایر طرح‌های تهیه شده است (تصویر شماره ۱).

اقداماتی در زمینه آگاهی عمومی و آموزش مرتبط با کاهش خطرپذیری بلایا، تغییر نگرش‌ها و رفتار و ارتقای فرهنگی به پیش‌گیری کمک می‌نمایند. انجام مطالعات پژوهشی برای کاهش خطرپذیری در مخاطرات طبیعی و مصنوعی از مهم‌ترین اقدامات این مرحله است. [۴] بر این اساس پیش‌نیازهای اساسی پیش‌گیری، انجام پژوهش و آموزش است. مندوزا [۵] مراحل اساسی در چرخه مدیریت بحران را به تصویر کشیده است (تصویر شماره ۲).

طرح‌های پیش‌گیری از مخاطرات طبیعی^۲

به منظور رفع یا کاهش تأثیرات بلندمدت و تبعات ناشی از مخاطرات طبیعی شناخته شده، بر زندگی و دارایی‌های جوامع انسانی تهیه می‌شود. اهداف مترتب بر این طرح‌ها اقدامات سازهای^۳ همچون حفاظت از ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها در برابر تأثیرات مخرب ناشی از

آب و باد) و یا اقدامات غیرسازه‌ای^۴ (همچون وضع یا ارتقای قوانین و اتخاذ سیاست‌های معطوف به کاربری زمین) است. [۷] از آنجا که، اقدامات جهت کاهش میزان خطرپذیری، انجام پژوهش و مطالعه در زمینه‌ی شناخت مخاطرات و نحوه‌ی جلوگیری از آن‌ها است، مطالعات ژئوتکنیکی یکی از روش‌های شناسایی مخاطرات در زمینه‌ی نشست زمین و ساخت و ساز به دلایل وجود قنات‌های متعدد، افت سطح آب‌های زیرزمینی و سستی خاک است. در ادامه به تشریح مخاطرات ناشی از نشست زمین و نحوه‌ی انجام مطالعات در این زمینه پرداخته می‌شود.

نشست‌های ساختمانی: نشست تابعی از ویژگی‌های خاک، شکل شالوده، بارورده به پی و مدت زمان اعمال بار به خاک است. نواحی شهری واقع بر روی زمین‌های کارستی بیشتر با نشست زمین مواجه می‌شوند. پدیده‌ی فرونشست به آهستگی و به تدریج گسترش می‌یابد و لذا خطرات ناشی از آن مانند سیل و زلزله نیست که به یکباره آشکار شود، آثار و تبعات مخرب آن به تدریج ظاهر شده و ابعاد مختلفی را در بر می‌گیرد. [۸]

نشست زمین ناشی از موارد ذیل اتفاق می‌افتد: نشست ناشی از خاک‌های مسئله‌دار (خاک دستی، خاک نباتی، خاک سست و ...)

فرونشست ناشی از وجود قنات‌ها
فرونشست ناشی از ریزش میله و انباری چاه‌های دفع فاضلاب
فرونشست ناحیه‌ای ناشی از تراکم رسوبات ریزدانه در اثر پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی در ساختمان‌ها، نشست در زیر تمامی

پی‌ها و در همه‌ی وضعیت‌های خاک رخ می‌دهد، اما سازه‌هایی که بارگذاری سبکی دارند با سایت‌های سنگی نشست‌های بسیار جزئی را تجربه می‌کنند. برای سازه‌های سنگین‌تر یا سایت‌های نرم‌تر، نشست نسبت به مناطقی که ساخته نشده‌اند یا ساختمان‌های همسایه و همچنین نشست تفاضلی زیر یک سازه‌ی تنها می‌تواند مورد توجه باشد. نشست‌ی که در طول زمان رخ می‌دهد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است در حالی که نشست ناگهانی می‌تواند در حین ساخت برطرف شود. حرکت زمین زیر پی یک سازه می‌تواند در حین انقباض یا تورم خاک‌های انبساطی به علت تغییرات آب و هوایی، انبساط ناشی از یخ‌زدگی خاک، ذوب‌شدگی خاک یخ‌زده، ناپایداری شیب یا سایر دلایل به وجود آید. تمام این فاکتورها باید در حین طراحی پی‌ها در نظر گرفته شود.

بنابراین اولین ملاحظات برای طراحی پی، ظرفیت تحمل، نشست و حرکت زمین در زیر پی‌اند. ظرفیت تحمل، توانایی خاک‌های سایت برای تحمل بارهای تحمیلی بر ساختمان و سازه است.

بسیاری از آیین‌نامه‌های ساختمان، پارامترهای اساسی طراحی پی برای وضعیت‌های ساده را تعیین کردند اما چنین تکنیک‌های طراحی معمولاً به انواع خاصی از ساختمان و انواع خاصی از سایت‌ها محدودند و عموماً بسیار محتاطانه هستند.

در مناطقی که سنگ بستر در عمق کمی قرار دارد، اغلب پی‌ها مستقیماً بر روی سنگ بستر قرار می‌گیرند، در سایر نواحی خاک ممکن است مقاومت کافی برای نگه‌داری سازه‌ها را تأمین کند. در نواحی که سنگ بستر در عمق‌های بیشتر قرار دارد و زیر آن خاک نرم وجود دارد، پی‌های عمیق برای حفظ پایداری سازه‌ها مستقیماً بر سنگ بستر قرار می‌گیرند، در نواحی که سنگ بستر از نظر اقتصادی موجود نباشد، لایه‌های استحکامی سخت به جای پی‌های عمیق به‌کار می‌روند. [۹] امروزه برای شناسایی مناطق پرخطر در زمینه نشست زمین از روش ژئوتکنیک استفاده می‌شود.

روش ژئوتکنیک

علم ژئوتکنیک، لایه‌های مختلف زمین و آب‌های زیرزمینی را به‌عنوان عامل مؤثر در پایداری و رفتار ابنیه مورد مطالعه قرار می‌دهد. [۱۰]

در واقع بررسی‌های ژئوتکنیک باعث طراحی بهینه‌ی سازه می‌گردد. اگر ظرفیت باربری خاک بستر، بیش از مقدار مفروض در طراحی سازه باشد، طرح غیراقتصادی خواهد بود و اگر ظرفیت باربری بستر کمتر از مقدار مفروض باشد، قطعاً باعث گسیختگی خاک و بروز مسائلی چون نشست، واژگونی و دست‌کم ایجاد ترک‌های سازه‌ای خواهد شد. از این رو انجام مطالعات ژئوتکنیکی یکی از مهم‌ترین مراحل بررسی‌های لازم برای فعالیت‌های عمرانی است و ساخت و ساز بدون انجام بررسی‌های محلی ژئوتکنیکی می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به‌بار آورد. پی ساختمان بارها را از ساختمان یا سایر سازه‌ها به زمین منتقل می‌کند. مهندسان ژئوتکنیک پی‌ها را براساس ویژگی‌های بار سازه و خصوصیات خاک یا سنگ بستر در یک سایت طراحی می‌کنند. در کل، مهندسان ژئوتکنیک: ۱. مقدار و مکان بارهایی را که باید حمایت شوند تخمین می‌زنند. ۲. طرحی برای

تحقیق در حفاری زیرسطحی توسعه می‌دهند. ۳. پارامترهای ضروری خاک را از آزمایش‌های میدانی و آزمایشگاهی تعیین می‌کنند. ۴. پی را در ایمن‌ترین و اقتصادی‌ترین حالت طراحی می‌کنند. [۱۱] بنابراین اهداف عمده از انجام بررسی‌های ژئوتکنیکی، تعیین پارامترهای مورد نیاز طراحی پی ساختمان و استنتاج توصیه‌های فنی مورد نیاز بوده که شامل موارد زیر است. [۱۲]

۱۴. شناسایی مخاطرات زمین (وجود هوشخصات خاک‌های

دستی و سایر خاک‌های مسئله‌دار، قنات، چاه‌های فاضلاب، ناپایداری شیبی، گسل، سطح آب زیرزمینی و ...)

۱۵. ارائه‌ی توصیه‌های فنی در خصوص خطر حفاره‌های

زیرزمینی (چاه‌های فاضلاب و قنات‌ها)، نیاز به بهسازی زمین، نوع و عمق استقرار پی‌ها، توصیه‌های مربوط به گودبرداری، سیستم دفع فاضلاب و نوع سیمان؛

۱۰. تعیین نوع زمین براساس آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ زلزله در ایران؛

۲. تعیین مقاومت برشی در زیر بارهای مختلف و در شرایط متفاوت؛

۳. تعیین نفوذپذیری خاک؛

۴. بررسی تأثیر حرکت و سکون آب‌های زیرزمینی؛

۵. تعیین شیب مجاز گودبرداری، روش گودبرداری و نوع و نحوه‌ی اجرای سازه‌ی نگهبان؛

۶. تعیین ظرفیت باربری یا مقاومت مجاز پی‌ها با توجه به نشست مجازی؛

۷. تعیین فشار جانبی خاک و سایر پارامترهای مربوط به طراحی دیوارهای حایل.

تجربه‌ی حوادث متعدد در ساختمان‌های شهر تهران نشان می‌دهد که یکی از علل عمده‌ی خرابی و ضعف عملکرد بعضی از ساختمان‌ها عدم انجام یا ضعف در نحوه‌ی انجام بررسی‌های ژئوتکنیکی و نتیجه‌گیری از آن‌ها بوده است. مسائل و پدیده‌های بسیار متعددی در زمینه‌ی رفتار خاک و سنگ و نیز در زمینه‌ی مهندسی پی وجود دارد که درک و توجیه و حل آن‌ها مستلزم دسترسی به یک سلسله اطلاعات تئوری و تجربی مقدماتی و در عین حال دقیق و مطمئن است که این اطلاعات از طریق مطالعات ژئوتکنیک یک به‌دست می‌آید. [۱۰]

نحوه‌ی انجام مطالعات ژئوتکنیک

گام اول در هر گونه مطالعه‌ی ژئوتکنیک بررسی و مشاهده است که منتج به ارائه‌ی طرح گمانه‌زنی و نمونه‌برداری می‌گردد.

به‌طور کلی گمانه‌زنی به دوروش دستی و ماشینی و نمونه‌برداری به دو روش دست‌نخورده و دست‌خورده انجام می‌پذیرد. [۱۰] انتخاب نوع حفاری و نوع نمونه‌گیری مورد نیاز هر پروژه، بستگی به ماهیت پروژه و نوع زمین دارد. تعداد گمانه و تعداد نمونه‌ی مورد نیاز و همچنین موقعیت حفر گمانه و برداشت نمونه، مجموعه برنامه‌ی شناسایی زمین را تشکیل می‌دهد که با مشاهده‌ی اولیه و بازدید محلی قابل تهیه است. در یک بازدید محلی، موارد زیر باید مورد توجه باشد:

رده‌بندی ژئوتکنیکی ساختمان و میزان نشست و گودبرداری مجاز

در ساختمان‌های رایج شهری معمولاً بسته به ارتفاع، مساحت، اهمیت ساختمان، کیفیت خاک و با استفاده از آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی می‌توان تحلیلی از وضعیت ساختمان به دست آورد. اطلاعات مورد نیاز برای ساختمان‌های کم اهمیت و کم ارتفاع می‌تواند از طریق حفریک یا چند گمانه‌ی دستی و معاینه‌ی محلی، تجربیات مشابه و قضاوت مهندسی و در صورت نیاز برداشت خاک به صورت دست‌خورده و دست‌نخورده و انجام آزمایشاتی چون تعیین دانه‌بندی، نوع خاک، ضریب اصطکاک و چسبندگی آن و ... به دست آید. به این نوع ساختمان‌ها در مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان تحت عنوان رده‌ی ژئوتکنیکی یک اشاره شده است. ساختمان‌های این رده ساختمان‌هایی هستند که از لحاظ ارتفاع تا چهار طبقه و کمتر از ۱۲ متر و از لحاظ مساحت کمتر از ۳۰۰ مترمربع و از لحاظ اهمیت دارای اهمیت کم و متوسط باشند. حداکثر گودبرداری در آن‌ها ۵/۲ متر و فاقد خاک مشکل دار و یا خطر برای مجاوران باشد و در عین حال انبوه‌سازی‌ها در این رده قرار نمی‌گیرند. برای ساختمان با اهمیت و مرتفع می‌توان از طریق احداث گمانه‌های ماشینی در عمق زیادتر و تمامی آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل لازم را به دست آورد (جدول شماره ۱).

در مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان این نوع ساختمان‌ها به دو رده‌ی ژئوتکنیکی ۲ و ۳ تقسیم شده است. رده‌ی ژئوتکنیکی ۲ ساختمان‌های تا ۱۵ طبقه با شرایط معمولی ژئوتکنیکی، گودبرداری کمتر از ۶ متر و یا دو طبقه‌ی زیرزمین، سازه‌ی نگهدارنده کمتر از ۶ متر و یا ساخت و ساز بر روی خاکریزهای مهندسی را شامل می‌شود. ساختمان‌هایی که در رده‌ی ژئوتکنیکی ۱ و ۲ قرار نمی‌گیرند در رده‌ی ۳ دسته‌بندی می‌شوند.

برای تعیین عمق گمانه‌ها در شروع کار روابطی تقریبی پیشنهاد شده است که به شرح زیر است:

$$\text{برای خاک ضعیف } Df + 0.7^{\circ}6$$

$$\text{برای خاک متوسط } Df + 0.7^{\circ}5$$

$$\text{برای خاک مناسب } Df + 0.7^{\circ}3$$

که S تعداد طبقات و Df عمق استقرار پی است. در هر حال تعداد و عمق گمانه‌ها باید به ترتیبی باشد که اطلاعات مورد نیاز را برای تحلیل و ارائه‌ی گزارش به دست دهد. لازم به ذکر است در ضمن گمانه‌زنی ممکن است ضرورت‌های دیگری ایجاب نماید تا تعداد و عمق گمانه‌ها تغییر کند. در حین اجرای پروژه و در موقع گودبرداری نیز ممکن است علایمی ناشی از عدم یکنواختی و یا مغایرت با نتایج آزمایشات مشاهده شود که به آن‌ها باید توجه شود (نمودار شماره ۱).

بر طبق مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان معمولاً فاصله‌ی گمانه‌ها ۳۰ متر و عمق گمانه برای ملاحظات زلزله ۳۰ متر و یا تا تراز سنگ بستر انتخاب می‌شود. این عمق باید لایه‌های نشست پذیر را پوشش دهد. در پی‌های گسترده عمق گمانه بین دو حباب گسترش ۱۰ درصد تنش کل زیر پی و ۲۰ درصد تنش مؤثر بر جای خاک منظور شود که این عمق معمولاً برابر یا بزرگ‌تر از عرض پی است.

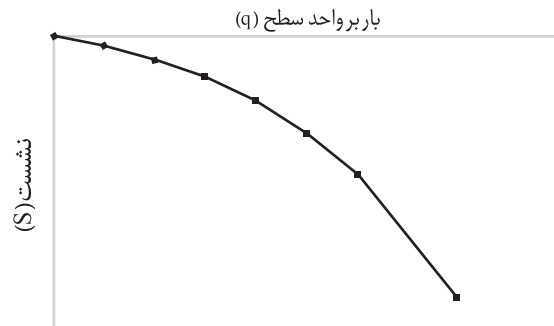
- توپوگرافی عمومی محل (ناهمواری‌ها، شیب‌ها، امتداد آب‌های سطحی و...):
- وجود خاک دستی: تشخیص لایه‌ی دستی و عمق آن و نیز راه حل برداشتن و تثبیت آن؛
- بررسی لایه‌بندی زمین: تشخیص لایه‌های مختلف تشکیل دهنده‌ی زمین به کمک بررسی رخنمون‌ها و ترانسه‌ها، تعیین تراز آب زیرزمینی، تشخیص محل دقیق تراز آب و میزان آن در فصول مختلف سال؛
- بررسی شالوده‌های ساختمان‌های مجاور: تعیین تراز دقیق شالوده‌های مجاور و تصمیم‌گیری در مورد انتخاب نوع شالوده‌ی مورد نیاز و همچنین رعایت موارد ایمنی در گودبرداری، احداث سازه‌ی نگهدارنده و یا طرح پایدارسازی شالوده‌های مجاور در مدت گودبرداری؛
- بررسی امکان وجود چاه‌ها، کانال‌ها و قنوات قدیمی: تشخیص محل دقیق این موارد و ارائه‌ی راهکار جهت کاستن از خطرات احتمالی؛
- تعیین عمق یخبندان: به ویژه در مناطق سردسیر و نقاطی که فصل سرمای بسیار طولانی دارند.

از آنجا که محیط‌های خاکی و سنگی در نقاط مختلف شرایط متفاوتی دارند لذا لازم است ویژگی‌های خاص هر محیط به طور ویژه مورد بررسی تجربی قرار گیرند. این امر ممکن است در قالب تست‌های آزمایشگاهی و یا در مقیاس بزرگ‌تر تحت عنوان آزمون‌های آزمایشگاهی انجام شود. [۱۰]

بررسی‌های میدانی و تست‌های آزمایشگاهی کاملاً مرتبط بوده و بخش اصلی بررسی‌های میدانی را نمونه‌برداری و شناخت نمونه‌ها تشکیل می‌دهد.

نوع خاک	پی‌های منفرد		پی‌های گسترده			
	رس‌های ماسه و رس‌های سخت	رس‌های پلاستیک	رس‌های ماسه و رس‌های سخت	رس‌های ماسه و رس‌های سخت	رس‌های ماسه و رس‌های سخت	رس‌های ماسه و رس‌های سخت
خاک	حداکثر نشست	اختلاف نشست	حداکثر نشست	اختلاف نشست	حداکثر نشست	اختلاف نشست
	۵۰mm	۲۰mm	۶۵mm	۲۵mm	۷۵mm	۳۰mm
فولادی	حداکثر نشست	اختلاف نشست	حداکثر نشست	اختلاف نشست	حداکثر نشست	اختلاف نشست
	۵۰mm	۲۰mm	۶۵mm	۲۵mm	۷۵mm	۳۰mm
بتنی	حداکثر نشست	اختلاف نشست	حداکثر نشست	اختلاف نشست	حداکثر نشست	اختلاف نشست
	۵۰mm	۲۰mm	۶۵mm	۲۵mm	۷۵mm	۳۰mm

جدول شماره ۱: (۱) میزان نشست طبیعی ساختمان‌ها به تفکیک نوع پی‌های به‌کاررفته در آن‌ها [۱۳]



نمودار شماره‌ی (۱): بار - نشست، [۱۳]

در پی‌های تکی و نواری بین ۵/۱ تا سه برابر عرض پی و بیشتر از عرض و یا ارتفاع ساختمان در نظر گرفته می‌شود. معمولاً یک مهندس محاسب باید به نکات زیر در گزارش ژئوتکنیک توجه نماید:

۱. مقاومت مجاز خاک که بسته به نوع پی و ابعاد آن متفاوت است و همچنین امکان لغزش و روان‌گرایی خاک در زیر پی.
۲. ضریب عکس‌العمل بستری برای تعیین نشست.
۳. تراز آب‌های زیرزمینی و تغییرات آن در فصل‌های مختلف.
۴. مشخصات فنی لایه‌ها در زیر پی و در دیواره‌ی گود جهت طراحی سازه‌ی نگهدارنده.
۵. املاح موجود در خاک جهت تعیین سیمان مصرفی.
۶. میزان نشست در زیر پی و توجه به نشست کلی و یا اختلاف نشست در زیر پی.

برای سازه‌های بتن مسلح و فولادی میزان نشست مجاز بر طبق جدول شماره ۱ مدنظر قرار گیرد.

بنابراین مهندسان طراح می‌بایست بر اساس مستندات مربوط به مشخصات فنی خاک اقدام به طراحی پی بنمایند و مهندسان ناظر از تطبیق مشخصات فنی در حین اجرا با نتایج گزارشات و همچنین وجود نقشه‌های اجرایی و راهکارهای لازم برای حفاظت از گود اطمینان حاصل نمایند. [۱۳]

نشست‌های ساختمان در شهر تهران

شهر تهران با جمعیت ۸۴۲۹۸۰۷ نفر و به وسعت ۷۳۰ کیلومتر مربع در محدوده‌ی جغرافیایی ویژه‌ای واقع شده است [۱۴] که علاوه بر گسل‌های زمین خطرناک ناشی از وجود آب‌های زیرزمینی، قنات‌ها، چاه‌های دفع فاضلاب و در برخی موارد خاک سست از جمله تهدیدهای ساخت و ساز در آن است. ساخت بناها و بارگذاری فزاینده در صورت عدم شناخت خصوصیات زمین قادر است موجبات نشست ناشی از تراکم و نیز تراکم هیدرولوژیکی را فراهم آورد.

[گریگوری و والینگ، ۱۹۸۷] شرایط خاص زمین‌شناسی شهر تهران و گسترش ساخت و ساز بدون انجام مطالعات لازم برای شناسایی مشخصات ژئوتکنیکی همواره سبب بروز حوادث متعددی گردیده است. یکی از این مخاطرات، نشست زمین و نشست‌های ساختمانی در شهر تهران است که موضوع مورد توجه این مقاله است. انواع نشست‌های ساختمانی در شهر تهران عبارتند از:

الف. نشست ناشی از خاک‌های مسئله‌دار (خاک دستی، خاک نباتی، خاک سست و ...)

بی‌توجهی به وجود و شناسایی مشخصات خاک‌های مسئله‌دار زیر پی ساختمان‌ها موجب نشست ساختمان‌های واقع بر روی آن می‌شود که نمونه‌ی آن نشست ساختمان‌های کوی کارکنان واقع در محدوده‌ی دره‌ی فرحزاد است. ساختمان‌های کوی مجلس بدون انجام مطالعات شناسایی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک محل و تمهیدات بهسازی بستر، بر روی محدوده‌ی ناپایدار احداث شده بود که در سال ۱۳۸۲ شواهد نشست به صورت ایجاد ترک خوردگی و بروز آسیب‌های شدید به ساختمان‌ها ظاهر شد. نشست این ساختمان‌ها باعث بروز خسارت‌های مالی فراوانی شد. [۱۲] (تصویر شماره‌ی ۳).



تصویر شماره‌ی (۳): ایجاد ترک و بروز آسیب‌های شدید در ساختمان‌های کوی کارکنان مجلس، [۱۲]

ب) فرونشست ناشی از وجود قنات‌ها

در شهر تهران بیش از ۱۰۰۰ رشته قنات وجود دارد (طول برخی از آن‌ها تا بیش از ده‌ها کیلومتر می‌رسد) که بخشی از آن‌ها به صورت متروکه درآمده و تخریب شده‌اند. [۱۲] امروزه رشته‌های قنات، تبدیل به یکی از مشکلات عمده‌ی ایمنی در شرایط استاتیکی و زمین‌لرزه شده‌اند. هر ساله در اثر این حوادث، خسارات قابل توجهی بر ساختمان‌ها و زیرساخت‌های شهری وارد می‌شود که در هنگام زمین‌لرزه نیز قطعاً خطرات و خسارات ناشی از آن را شدیدتر خواهد کرد. هر چه عمق قنات کمتر باشد خطر آن برای سازه‌های فوقانی بیشتر خواهد بود. مشکلات مربوط به تأثیر قنات‌ها بر ساختمان‌ها و سازه‌های واقع بر روی آن در فصول و سال‌های پربابی بسیار شایع است. این مشکلات عمدتاً به شکل‌های زیر نمود داشته است:

۱. ریزش قنات، نشست زمین و تأثیر آن بر سازه‌های بنا شده بر روی آن و یا در حریم آن در شرایط عادی به دلیل فرسودگی پوشش گالری قنات و یا آب‌شستگی آن.
۲. ریزش قنات و تأثیر بر سازه‌های بنا شده بر روی آن و یا در حریم آن در شرایط بارندگی‌های زیاد و یا رخداد زلزله. مصداق این امر زلزله‌ی سال ۱۳۸۲ در شهر بجم است که باعث نشست‌های زیادی در اثر ریزش اطراف میله‌ها و مسیرهای قنات‌ها در این شهر شد.

۳. مسدود شدن مسیر قنات‌ها در پایین دست در جریان عملیات عمرانی یا ساختمانی در سال‌های اخیر و در نتیجه بالادستی آب در بالادست و ایجاد مشکلات فراوان در پی آن.

۴. تجمع و نفوذ جریان آب زیرزمینی در اطراف سازه‌ها. با توجه به موارد فوق، لازم است در صورت مشخص شدن مسیر قنات در محدوده‌ی ساختمان، دستورالعمل مناسب جهت پایدارسازی قنات‌ها تهیه و ارائه شود. [جزوه سازمان پیش‌گیری و مدیریت بحران شهر تهران، ۱۳۸۷، ص ۲۳]

ج. فرو نشست ناشی از ریزش میله و انباری چاه‌های دفع فاضلاب

عواملی که باعث ریزش چاه فاضلاب می‌شود عبارتند از: نشست آب، اشباع شدن خاک‌های محدوده و در نهایت ریزش چاه فاضلاب و نشست ساختمان، نزدیکی یا برخورد چاه‌های دفع فاضلاب با قنات، کوچک بودن مساحت زمین‌ها، نزدیکی و گاه اتصال انباری چاه‌های دفع فاضلاب. [۱۲]

هرچه عمق انباری چاه‌های فاضلاب و فاصله‌ی قرارگیری آن‌ها از یکدیگر کمتر بوده و خاک محل فرسایش پذیرتر باشد (به ویژه خاک‌های سیلتی)، خطر فرونشست زمین در اثر ریزش چاه بیشتر می‌شود. در جریان بررسی‌های ژئوتکنیکی، میله و انباری چاه‌های دفع فاضلاب واقع در محدوده‌ی احداث ساختمان باید شناسایی شده و عمق، موقعیت و تأثیر احتمالی آن‌ها بر ساختمان و نحوه‌ی مقاوم‌سازی آن‌ها جهت رفع خطر به تفصیل بیان شود. در تصاویر شماره ۴ و ۵ نمونه‌های نشست زمین و آسیب دیدگی ساختمان‌ها در اثر بی توجهی به این موضوع نشان داده شده است.



تصویر شماره ۴: نشست زمین و آسیب دیدگی شدید ساختمان در اثر ریزش انباری چاه‌های دفع فاضلاب محدوده خیابان دامپزشکی (منطقه ۹)، [۱۲]

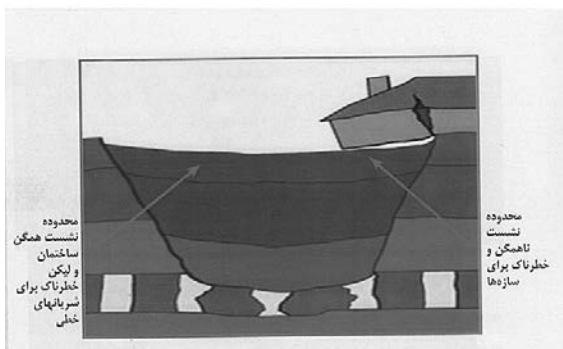
د. فرونشست ناحیه‌ای ناشی از تراکم رسوبات ریزدانه در اثر پایین رفتن سطح آب زیرزمینی

یکی از علل نشست زمین در مناطق شهری، تراکم رسوبات ریزدانه به دلیل پایین رفتن سطح آب زیرزمینی است؛ این پدیده به آهستگی و به تدریج در مسافت طولانی ایجاد می‌شود.

خسارت ناشی از نشست‌ها و شکاف‌های زمین، ترمیم ناپذیر، پرهزینه و مخرب است. در این مورد، مناطق شهری به دلیل تراکم جمعیت، ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی به طور ویژه آسیب پذیرتر هستند. این پدیده می‌تواند به خیابان‌ها، پل‌ها و بزرگراه‌ها آسیب برساند و عملکرد خطوط آب‌رسانی، گاز و فاضلاب را مختل نماید و همچنین به پی ساختمان‌ها آسیب رسانده و موجب ترک در آن‌ها گردد. [۱۲]



تصویر شماره ۵: نشست زمین و آسیب دیدگی ساختمان‌های نوساز در جنوب میدان فتح (منطقه ۹)، [۱۲]



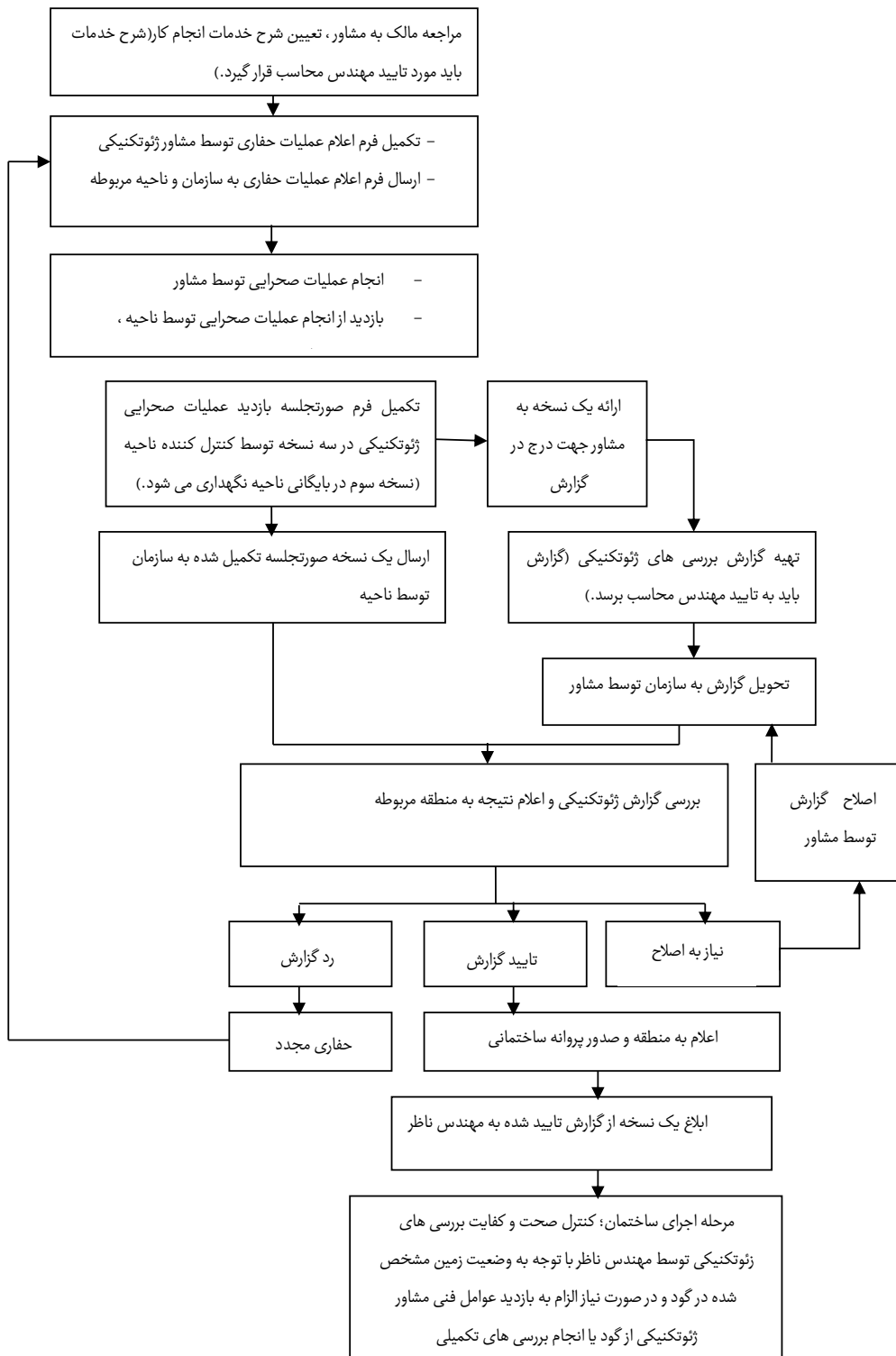
تصویر شماره ۶: مخاطرات ناشی از نشست زمین، [۱۲]

بررسی‌های ژئوتکنیکی در شهر تهران

در حال حاضر بررسی‌های ژئوتکنیکی برای ساختمان‌های ۶ طبقه و بیشتر در تهران الزامی است. در سال ۱۳۸۰ از مناطق شهرداری تهران خواسته شد برای انجام مطالعات ریزپهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی شهر تهران، نسخه‌ای از گزارش‌های بررسی ژئوتکنیکی انجام شده به منظور طراحی و صدور پروانه‌ی ساختمان‌ها، به مرکز مطالعات زیست محیطی و زلزله‌ی شهر تهران ارسال شود. در اوایل دهه‌ی ۸۰ بررسی گزارش‌ها با هدف تفکیک گزارش‌های مناسب جهت تهیه‌ی بانک اطلاعات ژئوتکنیکی شهر تهران آغاز شد اما بررسی کیفیت گزارش‌های ارسالی، حاکی از صوری بودن بسیاری از آن‌ها بود و نتیجه‌گیری شد که این گزارش‌ها کمکی به ایجاد بانک اطلاعاتی نمی‌کنند. در نیمه‌ی دوم سال ۱۳۸۵ با همکاری دفتر ستاد بحران منطقه‌ی ۸ شهرداری تهران، بررسی‌های میدانی و دفتری گزارش‌های ارسالی شده از این منطقه حاکی از این بود که در ۹۰٪ موارد گمانه‌ای حفر نگردیده و گزارش‌های ارسالی

صوری و در بیشتر موارد کپی برداری بوده‌اند و در بقیه‌ی موارد نیز حفر گمانه و عمق مشاهده شده گمانه با عمق ذکر شده در گزارش تطابق نداشت. با توجه به نتایج این گزارش همکاری جدی از سوی معاونت شهرسازی و معماری برای کنترل تصادفی گزارش‌های مکانیک خاک در تمامی مناطق آغاز شد [سازمان پیش‌گیری و مدیریت بحران شهر تهران، ۱۳۸۷ ص ۶]. بررسی‌های مورد نظر به منظور شناسایی مشخصات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی سایت‌های مورد نظر برای ساخت ساختمان، شامل بخش‌های زیر است:

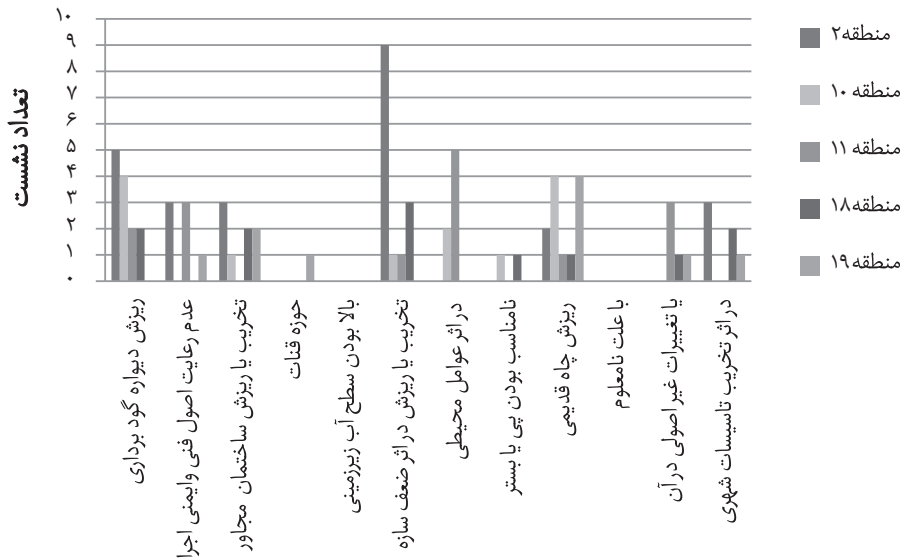
۱. انجام بررسی‌های مربوط به شناسایی شرایط زمین‌شناسی (براساس نقشه‌ها، عکس‌های هوایی موجود و بررسی‌های میدانی)؛
۲. انجام بررسی‌های محلی شامل حفاری (ماشینی و دستی) و انجام آزمایشات صحرایی؛
۳. انجام آزمایشات آزمایشگاهی؛
۴. تهیه‌ی گزارش، نتیجه‌گیری و توصیه‌های طراحی و اجرایی.





تصویر شماره ۷: نشست عمومی تعدادی از ساختمان‌ها به دلیل ریزش ائبوری چاه‌های فاضلاب (منطقه ۱۰)، [۱۳]

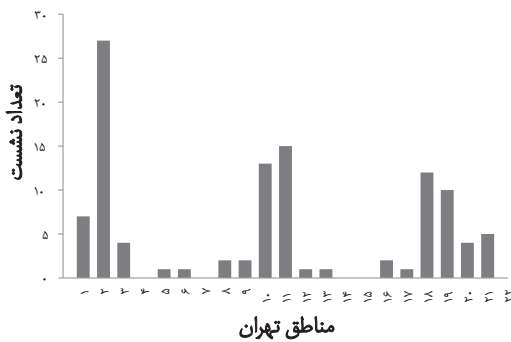
تصویر شماره ۸: آسیب دیدگی ساختمان‌های واقع بر روی خاک دستی (منطقه ۵)، [۱۳]



نمودار شماره ۳: عوامل نشست و ریزش ساختمان، [نگارندگان]

بررسی نشست و تخریب ساختمان در مناطق شهر تهران

طبق آمار و اطلاعات سازمان مدیریت و پیش‌گیری شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰، در مناطق ۴، ۷، ۱۴، ۱۵ و ۲۲ گزارش نشست نداشته‌ایم. بیشترین نشست‌های ساختمان در مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۸ و ۱۹ رخ داده است.



نمودار شماره ۲: تعداد نشست‌ها در مناطق تهران [نگارندگان]

علت نشست‌ها و تخریب ساختمان در این مناطق، ۱۲ عامل گزارش شده است:

۱. ریزش دیواره‌ی گود برداری؛
۲. سایر حوادث حین اجرای ساختمان ناشی از عدم رعایت اصول فنی و ایمنی اجرا؛

آسیب‌شناسی بررسی‌های ژئوتکنیکی در تهران

در بررسی مطالعات ژئوتکنیکی انجام شده در شهر تهران اشکالات زیر مشاهده شده است:

۱. مناسب نبودن تعداد، عمق (گاه زیاده‌تر از حد نیاز و گاه کمتر) و روش حفر گمانه‌ها؛
۲. نامناسب بودن نمونه‌گیری، آزمایشات صحرائی و آزمایشگاهی از نظر نوع روش انتخاب شده، تعداد و روش انجام؛
۳. عدم توجه به مخاطرات احتمالی شامل وجود خاک دستی، قنات، گسل و ... باید در بررسی‌های ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی مهندسی ساختمان‌ها، مسئله‌ی مخاطرات زمین نیز مورد توجه قرار گیرد و در هر مورد توصیه‌های لازم و در صورت نیاز پیشنهاد بررسی‌های بیشتر ارائه شود. بی‌توجهی به این مسئله همواره سبب بروز حوادث متعدد شده است. در راستای شناسایی محدوده‌های دارای مخاطرات زمین، تهیه‌ی نقشه‌های پایه (نقشه‌های خاک دستی، نقشه‌ی موقعیت قنات و گسل‌ها و محدوده‌های مستعد ناپایداری شیبی و...) بسیار ضروری است که در این خصوص اقداماتی در سازمان پیش‌گیری و مدیریت بحران صورت گرفته است.
۴. عدم ارائه‌ی توصیه‌های فنی مناسب براساس بررسی‌های محلی خاص خاستگاه (تصاویر شماره ۷ و ۸).

نام محل	علل وقوع حادثه	پیشنهادات
ساختمان واقع در خیابان عدالت (ولنجک)	شیب زیاد منطقه، نفوذ ناپذیری مناطق بالادست به علت بستر سنگی و جریان فاضلاب ساختمان‌های واقع در بالا دست منطقه به سمت پایین؛ بالا آمدن موقت سطح آب زیرزمین منطقه به علت آبیاری پارک واقع در ضلع شرقی ساختمان؛ بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در اثر افزایش میزان بارش در ماه‌های اخیر.	بررسی استحکام و ایمنی ساختمان‌های آسیب دیده از طریق مهندسين مشاور ذی صلاح و ارائه ی توصیه‌های مربوط؛ اقدام عملیات مانیتورینگ ترک‌های ایجاد شده در ساختمان تا در صورت گسترش آن‌ها ساختمان هر چه سریع‌تر تخلیه گردد.
فرونشست بخش شمالی جاده‌ی مخصوص کرج	فقدان اطلاعات مناسب در خصوص موقعیت میله‌های قنات؛ فعالیت اجرایی شرکت مترو؛ نشست آب از کانال مدفون انتقال آب و شسته شدن خاک.	انجام مطالعات ژئوتکنیکی، ژئوفیزیکی و حفر گمانه‌های اکتشافی به منظور شناسایی ویژگی‌های خاک منطقه و علل احتمالی نشست؛ تعیین وجود و شناسایی مشخصات میله‌های چاه یا قنات احتمالی موجود در محدوده؛ بررسی اطلاعات نقشه‌های مربوط به موقعیت دقیق، عمق و مشخصات مسیر مترو در نزدیک محدوده مورد نظر و ارتباط محل حفره با موقعیت خط مترو.

جدول شماره‌ی (۲): بررسی دو نمونه از حوادث فرونشست در تهران، [نگارندگان]

۳. تخریب یا ریزش ساختمان مجاور در اثر گودبرداری غیراصولی؛

۴. حوزه‌ی قنات؛

۵. بالا بودن سطح آب زیرزمینی؛

۶. تخریب یا ریزش در اثر ضعف سازه؛

۷. نشست ساختمان در اثر عوامل محیطی (نظیر ترکیدگی لوله‌ی آب، فاضلاب و سایر تأسیسات شهری؛

۸. نشست ساختمان به علت نامناسب بودن پی یا بستر

۹. تخریب یا ریزش ساختمان یا فروکش کردن در اثر ریزش چاه قدیمی؛

۱۰. تخریب یا ریزش ساختمان با علت نامعلوم؛

۱۱. تخریب یا ریزش ساختمان در اثر تعمیرات یا تغییرات غیراصولی در آن؛

۱۲. نشست و فروکش کردن زمین و معابر در

اثر تخریب تأسیسات شهری نظیر (ترکیدگی لوله‌ی آب، ریزش تأسیسات زیرزمینی و ...).

از بین عوامل مذکور در مناطق ۲ و ۱۸ بیشترین عامل تخریب و نشست در اثر ضعف سازه، در منطقه‌ی ۱۰ عامل نشست و فروکش کردن زمین و معابر در اثر تخریب تأسیسات شهری نظیر (ترکیدگی لوله‌ی آب، ریزش تأسیسات زیرزمینی و ...)، در منطقه‌ی ۱۱ در اثر عوامل محیطی (نظیر ترکیدگی لوله‌ی آب، فاضلاب و سایر تأسیسات شهری؛ و در منطقه‌ی ۱۹ تخریب یا ریزش ساختمان یا فروکش کردن در اثر ریزش چاه قدیمی است (نمودار شماره‌ی ۳).

در ادامه دو نمونه (نشست ولنجک و نشست جاده‌ی مخصوص کرج) به صورت تصادفی انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۱. ساختمان واقع در خیابان عدالت (ولنجک)

این منطقه دارای خاک دستی بوده و به علت توپوگرافی پرشیب حاکم در منطقه، خاک برداری زیر پی یکنواخت بوده و در ضلع شمالی ساختمان ارتفاع خاک برداری بیشتر از ضلع جنوبی است. کیفیت بهتر مصالح در بستر ضلع شمالی ساختمان می‌تواند دلیلی بر نشست ضلع جنوبی و ایجاد ترک‌های مشاهده شده باشد.

در مورد علل بالادستی آب در چاه فاضلاب، لازم به یادآوری است که براساس نقشه‌ی حاصل از انطباق عکس‌های هوایی ۱:۱۰۰۰ سال ۱۳۳۵ بر نقشه‌ی شهری هیچ رشته‌قناتی در این محدوده شناسایی نشده بود. لذا براساس بررسی‌های به عمل آمده، از علل احتمالی این رخداد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. شیب زیاد منطقه، نفوذ ناپذیر بودن مناطق بالادست به

علت بستر سنگی و جریان فاضلاب ساختمان‌های واقع در

بالادست منطقه به سمت پایین؛

۲. بالا آمدن موقت سطح آب زیرزمین منطقه به علت آبیاری

پارک واقع در ضلع شرقی ساختمان؛

۳. بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در اثر افزایش میزان بارش

در ماه‌های اخیر.

۲. فرونشست بخش شمالی جاده‌ی مخصوص کرج

علت وقوع حادثه براساس بررسی‌های انجام شده، فاصله‌ی کم میله‌ی قنات شناخته شده تا محدوده‌ی فرونشست و فقدان اطلاعات مناسب در خصوص موقعیت سایر میله‌های قنات با توجه به وجود جاده‌ی مخصوص کرج در عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۵ منطقه و نامشخص بودن ادامه‌ی مسیر احتمال عبور قنات در محدوده‌ی مورد نظر است.

منابع و مآخذ

- Hill, C. & Jones, G., Strategic management theory, Houghton Company, 1995.
- Nateghi, A. F., Existing and proposed disaster management organization for Iran proceedings of the First Iran Japan Workshop on Recent Earthquakes in Iran & Japan, 1998.
- Stanganelli, Maria luca. "A new pattern of risk management: The Hyogo Framework for Action and Italian practise." Socio-Economic Planning Sciences (Elsevier Ltd.) 42, 2008.
- ناطقى الهى، فریبرز، "مدیریت بحران زمین لرزه در ابر شهرها"، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ۱۳۷۹.
- Mendoza, G.A. and H. Martins. "Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms." Forest Ecology and Management (Elsevier) 230, 2006, pp: 1-22.
- Switzerland Civil protection. <http://www.planat.ch/index.php?nav=54191,91&userhash=67973&l=d>. Switzerland Civil protection. 2009. www.irc.ch
- Guikema, Seth D. "Natural disaster risk analysis for critical infrastructure systems: An approach based on statistical learning theory." Reliability Engineering and System Safety (Elsevier Ltd) 94, 2009.
- Bracegirdle, A., Mair, R., Hand Talor, N., 1993, Sub surface settlement profiles above Tunnels in clay, Geo technique journal.
- Rajakapase, Ruwan., "Pile Design and Construction", 2005. ISBN 0-9728657-1-3.
- <http://omid2010.blogspot.com> 91.2.20
- مهندسی ژئوتکنیک کتاب ماه علوم و فنون، سال چهارم، شماره ۴۷، اسفند ۱۳۸۹، ص ۶۱.
- سازمان پیش گیری و مدیریت بحران شهر تهران، مهندسین مشاور عمران راهور " ضرورت، اهمیت، کنترل و انجام مطالعات ژئوتکنیکی شهر تهران، " ۱۳۸۷.
- مهندس مصطفی پسران بهبهانی، " شناخت و ارزیابی ساختگاه، " ماهنامه فنی تخصصی دانش نما، شماره پیاپی، سال ۱۳۸۸، ۱۷۲، ۱۷۳.
- <http://fa.wikipedia.org> 91.2.20
- " راهنمای مدیریت بحران شهری "، از سری متون تخصصی ویژه شهرداران. تهران: سازمان شهرداری ها و دهیاری های کشور، ۱۳۸۵.
- نقش برنامه ریزی و طراحی شهری در کاهش خطرات و مدیریت بحران. " مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، جلد دوم، تهران، ۱۳۷۴.
- یمانی، مجتبی، نجفی، اسماعیل عابدینی، محمد حسین " ارتباط فرونشست زمین و افت سطح آب های زیرزمینی در دشت قره بلاغ استان فارس "، فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا سال هشتم، شماره ۸ و ۹ بهار و تابستان ۱۳۸۸، ۲۷-۲۸.
- براجا، ام. داس، ترجمه ی طاحونی، شاپور، " اصول مهندسی ژئوتکنیک جلد اول و دوم " انتشارات شاپور طاحونی، ۱۳۷۱.
- اسلامی، ابوالفضل - رنجبر، ملک محمد - ریاضی، طه - ویس کرمی، مهدی " پی های گسترده (تحلیل، طراحی و عملکرد)، " انتشارات دانشگاه گیلان.
- International Strategy for Disaster Reduction secretariat. Words Into Action: A Guide for Implementing the Hyogo Framework. Hyogo Framework for Action 2005-2015., UN Pub, 2007.

با توجه به تقارن موقعیت فرونشست با جبهه ی اجرایی خط جدید مترو، احتمال دارد فعالیت اجرایی شرکت مترو در ایجاد این حادثه مؤثر باشد. لازم به ذکر است تعیین دقیق فاصله ی این فرونشست از مسیر مترو به دلیل عدم ارائه ی نقشه از سوی شرکت مترو در زمان تهیه ی گزارش امکان پذیر نبوده است.

همچنین بنا بر اظهارات مسئول هماهنگی منطقه، در امتداد بلوار واقع در جاده ی مخصوص کرج، کانال مدفون انتقال آب وجود دارد که نشست آب از آن و یا حتی آبیاری بلوار مذکور می تواند به عنوان عامل مؤثر در شسته شدن خاک محدوده به سمت حفره های احتمالی باشد.

در جدول شماره ی ۲، علت وقوع حادثه و پیشنهادات یک گزارش فرونشست زمین واقع در بخش شمالی جاده ی مخصوص کرج و گزارش نشست ساختمان واقع در خیابان عدالت (ولنجک) تهران آورده شده است.

نتیجه گیری

به دلیل قرارگیری شهر تهران در پهنه ی با خطر لرزه ای بالا و وجود مخاطرات طبیعی خاص این شهر و محدودیت منابع و امکانات برای مقابله ی مؤثر در رویارویی با بحران ها، باید ریسک مخاطرات، با اعمال تمهیداتی کاهش یابد. عدم اعمال نظارت و کنترل بر کیفیت ساخت و سازهای فزاینده در شهر تهران و عدم رعایت دقیق آیین نامه ها و دستورالعمل های تدوین شده ی مربوطه، منجر به ساخت ساختمان هایی شده است که اغلب آن ها علی رغم نوساز بودن به علت مقاومت اندک در برابر بارهای جانبی باعث افزایش آسیب پذیری شهر در برابر زلزله شده اند. روشن است که رفع اشکالات متعدد در روند فعلی ساخت و ساز مستلزم اتخاذ تدابیر اصلاحی مناسب و صرف زمان و کوشش زیاد و هماهنگی لازم در جنبه های مختلف بین سازمان ها و افراد دست اندرکار در ساخت ساختمان ها است. با بالا رفتن ارزش زمین در شهر تهران، ساخت و سازهای جدید برخلاف گذشته با افزایش تعداد طبقات ساختمان و به طبع آن نیاز به پارکینگ و سایر مشاعات و در نتیجه افزایش تعداد طبقات در زیرزمین همراه است. به همین دلیل شناسایی اختصاصات زمین شناسی مهندسی محل احداث بنا و طراحی ساختمان ها بر اساس شرایط محلی، نقش اساسی در ارتقای کیفیت ساخت و ساز و کاهش مخاطرات شهری ایفا می نماید. لذا انجام مطالعات ژئوتکنیکی، کمک شایانی به کاهش آسیب پذیری شهر تهران و شناسایی نشست های زمین و ارتقای سطح کیفی ساخت و سازها خواهد کرد. مطالعات نشان می دهند که میان انجام دقیق بررسی های ژئوتکنیکی و کاهش خسارت های ناشی از فرونشست زمین رابطه ی معناداری وجود دارد. از آنجا که بررسی های محلی در تمامی مطالعات ژئوتکنیکی ساختمان های متداول شهر تهران انجام نمی شود، لذا کنترل کامل انجام عملیات میدانی این مطالعات لازم و ضروری است.

پی نوشت

- Prevention
- Natural hazard mitigation plans
- Structural measures