فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ نهم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۳۹۸
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol. 9, No.2, Serial 32 (Summer 2019)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۳۰

بررسی ریسک فرونشست منطقه جنوب غرب شهر تهران

فاطمه دهقان فاروجی[۱] و علی بیت اللهی[۲]

۱. عضو هیات علمی، کارشناسی ارشد زمین شناسی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، بخش زلزله شناسی مهندسی و خطرپذیری، تهران، ایران.
(نویسنده مسئول) fatemedehghan@yahoo.com

۲. عضوهیات علمی، دکترای ژئوفیزیک، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، بخش زلزله شناسی مهندسی و خطرپذیری، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: پدیده فرونشست به طور معمول با مخاطرات فراوانی همراه است. این پدیده می تواند سبب آسیب‌های زیربنایی، طبیعی و در نهایت منجر به افزایش خطرپذیری جامعه و اقتصاد گردد. محور بیشتر مطالعات، بر مدل سازی و تکنیک‌های آن است و به جز دو مطالعه موردی در شهر تهران، ریسک یا خطرپذیری این پدیده و المان‌های در معرض این خطر به طور خاص مورد توجه نبوده است. بررسی خطرپذیری ناشی از این پدیده به منظور اقدامات پیشگیرانه و آمادگی ضرورت می‌یابد. هدف از انجام این تحقیق، شناسایی ریسک‌ها و در معرض قرارگیری المان‌های مهم و کلیدی در محدوده فرونشست است.

روش: در این پژوهش، محدوده فرونشست با استفاده از تحقیقات پیشین تعیین و المان‌های مهم و مورد نظر در این پهنه شناسایی و اطلاعات مربوط به آنها از منابع معتبر و مستند، جمع‌آوری و به صورت رقومی تهیه شد. این اطلاعات در سیستم اطلاعات جغرافیایی پردازش و جانمایی گردید. لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر در این مطالعه شامل جمعیت و مراکز جمعیتی مهم، ساختمان‌های مهم و سازه‌های مربوط به ابنیه فنی راه، سیستم حمل و نقل، زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی است که پس تهیه نقشه المان‌های تحت خطر، خطرپذیری مربوط به آنها تحلیل گردید. در بررسی‌های سازه‌ای ابنیه راه و ساختمان از بررسی‌های میدانی استفاده شد.

یافته‌ها: بررسی ریسک جمعیتی (مراکز مهم جمعیتی)، ریسک فیزیکی المان‌های نقطه‌ای، خطی و محدوده‌ای حوزه ساختمان و شهرسازی نظیر راه‌ها، خطوط ریلی، خطوط مترو، فرودگاه، ابنیه فنی راه، صنایع و تاسیسات شهری و شریان‌های حیاتی و تاسیسات وابسته به آن در این بخش بیانگر در معرض قرارگیری بالای المان‌های مهم در محدوده فرونشست است.

نتیجه‌گیری: براساس اطلاعات رقومی موجود، ۱۲۰ کیلومتر از خط راه‌آهن، ۲۵ کیلومتر از خطوط مترو، ۲۳۰۰ کیلومتر از راه‌ها و معابر شهری و بین شهری، ۲۱ دهنه پل، ۲ انبار مواد نفتی و سوختی و حدود ۴۴ جایگاه پمپ بنزین و ۱۵ جایگاه پمپ گاز، ۷ ایستگاه گاز، ۳۰ کیلومتر طول لوله نفت و بیش از ۷۰ کیلومتر خطوط فشار قوی برق، ۵ منطقه از شهر تهران، ۸ شهر، ۹۹ آبادی در این پهنه واقع شده‌اند. جمعیت در زون فرونشست ۱۷۹۳۲۶۴ است و تعداد زیادی از شاغلین و مراکز آموزشی و درمانی و تولیدی در این محدوده قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: فرونشست، ریسک، جنوب غرب، شهر تهران

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** دهقان فاروجی، فاطمه؛ بیت اللهی، علی (تابستان، ۱۳۹۸)، بررسی ریسک فرونشست منطقه جنوب غرب شهر تهران. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۹ (۲)، ۱۴۶-۱۶۶.

Considering the Risk of subsidence in south west of Tehran

Fateme dehghan Farouji[1] & Ali beitollahi[2]

1.Academic member of Road, Housing and Urban Development Research Center, Seismology and Risk Department, Tehran, Iran
2.Academic member of of Road, Housing and Urban Development Research Center, Seismology and Risk Department, Tehran, Iran

Abstract

Background and objective: The land subsidence is commonly associated with many risks. This phenomenon can cause substructure and natural damages, and ultimately leads to an increased risk in society and the economy. The most studies are focused on modeling and its techniques, except for two case studies in Tehran: the risk of subsidence phenomenon and the elements exposed to this risk which has not been specifically addressed. The risk assessment due to the phenomenon is necessary in order to preventive and preparedness measures. The purpose of this study is to identify the risks and the main elements within the subsidence area.

Method: In this study, the subsidence area was determined according to the previous researches, and the main elements were identified; data were collected from the valid and documented sources and digitized in the GIS. The data include population and important population centers, important buildings and civil technical structures, transportation system, infrastructures and roots. The risk area map was prepared and then analyzed according to their risk rate. Field studies were used to consider the civil structures.

Findings: The demographic risk assessment (main population centers) consideration and spotted, linear and areal physical risk in buildings and urban constructions such as roads, railways, subway lines, airports, civil technical structures, urban industries and facilities, roots and associated facilities in this section indicate the high place of important elements in the subsidence area.

Conclusion: According to the digital data, 120 km of railroads, 25 km of subway lines, 2300 km of urban and suburbs roads, 21 bridges, 2 oil and fuel depots, about 44 petrol stations and 15 gas pump, 7 gas stations, 30 km of petroleum pipe, and more than 70 km of high voltage power lines, 5 districts of Tehran, 8 cities, 99 villages are located in this area. The population in the subsidence zone is 1793264 people and a large number of workers, educational, therapeutic and manufacture centers are located in this area.

Keywords: land subsidence, Risk, South west, Tehran city

▶ **Citation (APA 6th ed.):** Dehghan Farouji F, Beitollahi A. (2019, Summer). Considering the Risk of subsidence in south west of Tehran. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 9*(2), 146-166.

مقدمه

فرونشست عبارت است از حرکت قائم یا نشست تدریجی و یا فرو رفتن ناگهانی سطح زمین به دلیل تراکم مواد زیرسطحی، که به علت‌های گوناگونی رخ می‌دهد. یکی از علل رایج این پدیده برداشت بی رویه از آبخوان‌هاست (حافظی مقدس و غفوری، ۱۳۸۸، ص ۱۳۰). فرونشست از جمله مهم ترین مخاطرات زمین‌شناسی است که به علت تلفات کم انسانی در مقایسه با دیگر پدیده‌های طبیعی ناگهانی مانند زمین‌لرزه، زمین‌لغزش و سیل، کمتر مورد توجه قرارگرفته است. این پدیده به طور معمول با مخاطرات فراوانی همراه است. از جمله این مخاطرات تغییر در توپوگرافی سطح زمین است که در بیشتر مواقع برگشت‌ناپذیر است. فرونشست یک مسئله جهانی به شمار می‌آید که در ایران بیشتر دشت‌ها دیده شده است (انگورانی و همکاران، ۱۳۹۴). فرونشست زمین نیز می‌تواند به عنوان یک پدیده زمین‌شناسی محیطی تعریف شود که سبب کاهش آهسته ارتفاع سطح زمین می‌شود (هو و همکاران، ۲۰۰۹) [1] و نتیجه تراکم طبیعی رسوبات و استخراج آب‌های زیرزمینی، مایعات ژئوترمال، نفت، گاز، زغال سنگ و سایر مواد جامد از طریق معدن است(کوراپچوقلو،۱۹۸۹) [2] (استوزی و و گنولر،۱۹۹۹). فرونشست زمین سبب تغییر شیب‌های توپوگرافی می‌گردد و به همین دلیل باعث ایجاد آسیب‌های زیربنایی، ازهم گسیختگی‌های سطح زمین، تشدید سیل و کاهش ظرفیت آبخوان‌ها برای ذخیره آب می‌شود و در نهایت منجر به افزایش خطرپذیری جامعه و اقتصاد می‌شود(هولزر و گالووی،۲۰۰۵) [3]. فرونشست زمین در اغلب نقاط دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است که می‌توان به مواردی نظیر فرونشست توکیو در ژاپن(یاماگوچی،۱۹۶۹) [4]، مکزیک(آدریان و همکاران،۱۹۹۹) [5]، عربستان سعودی(بانکر و الهرسی، ۱۹۹۹) [6]، تگزاس، ایالات متحده آمریکا(گابریش و نیبر، ۱۹۹۵) [7]، جاکارتای اندونزی (آبدین و همکاران، ۲۰۰۱) [8]، راونای ایتالیا(تیاتی و همکاران،۲۰۰۵) [9]، بانکوک تایلند(برگادو و همکاران،۱۹۸۷) [10]، پینگتونگ تایوان(فین ویج و همکاران،۲۰۰۶) [11] و چین(هو و همکاران،۲۰۰۶) [12] اشاره نمود. فرونشست زمین پدیده زمین‌شناسی است که با فعالیت‌های طبیعی و انسانی ایجاد می‌شود و سبب خطرپذیری برای انسان‌ها و محیط می‌شود و اغلب در مناطق دوردست و غیرمسکونی اثرات ناچیزی دارد(ژوو همکاران،۲۰۰۸) [13]. اما اگر این پدیده اثرات و نتایج مخرب یا خسارت نظیر تلفات، خسارت‌های معیشتی و سرمایه‌ای و فعالیت‌های اقتصادی یا زیست محیطی داشته باشد در نواحی در حال توسعه ریسک‌هایی را ایجاد می‌کند(توماس و همکاران، ۲۰۱۴) [14]، (کاپل و همکاران، ۱۹۹۹) [15] (اوتین، ۲۰۰۲) [16]. فاکتورهای ریسک یا خطرپذیری با افزایش سریع جمعیت شهری و توسعه اقتصادی ترکیب می شوند(هو و همکاران، ۲۰۰۹). تخریب‌های فیزیکی ناشی از فرونشست در دو گروه طبقه بندی می‌شوند که شامل تخریب زیرساخت‌هایی که توسط انسان‌ها ایجاد شده و خسارت به طبیعت هستند. تخریب‌های با اهمیت در نواحی مجاور فرونشست زمین دیده می‌شود(وانگ و همکاران،۲۰۱۲) [17]. تخریب‌های مهم در زیرساخت‌های مصنوع بشری در سراسر دنیا گزارش شده است که مربوط به ساختارهای انتقال آب است. به این دلیل که فرونشست سطح تراز زمین را دچار اشکال می‌کند و بنابراین زیرساخت‌های انتقال آب به کمترین تغییرات در گرادیان حساس هستند و فرونشست می‌تواند این ساختارها را به شدت تحت تاثیر قرار دهد(ریچا باهاتاری و همکاران،۲۰۱۷) [18](ساتو و همکاران،۲۰۰۳) [19].

گزارشات دیگر در مورد خسارت‌های این پدیده مربوط

1. Hu, B., Wang, J., Chen, Z., Wang, D. and Xu, S. (2009)
2. Corapcioglu, M. Y. (1989)
3. Holzer, T.L. and Galloway, D.L. (2005)
4. Yamaguchi, R. (1969)
5. Adrian, O.G.; Rudolph, L.D.; Cherry A.J.(1999).
6. Bankher, K.A.; Al-Harthi, A.A. (1999).
7. Gabrysch, R.K.; Neighbors R.J.(1995).
8. Abidin, H. Z., Djaja, R., Darmawan, D., Hadi, S., Akbar, A., Rajiyowiryono, H., Sudibyo, Y., Meilano, I., Kusuma, M. A., Kahar, J., and Subarya, C(2001).
9. Teatini, P., Ferronato, M., Gambolati, G., Bertoni, W., Gonella, M. (2005).
10. Bergado, D.T.; Nutalaya, P.; Balasubramaniam, A.S.; Apaipong, W.; Chang, C.C.; Khaw, L.G. Causes,(1987).
11. Phien-wej, N., Giao, P. H. and Nutalaya, P. (2006)
12. Hu, J.C.; Chu, H.T.; Hou, C.S.; Lai, T.H.; Chen, R.F.; Nien, P.F.(2006).
13. Xu, Y.S., Shen, S.L., Cai, Z.Y., Zhou, G.Y. (2008)
14. Tomás, R.; Romero, R.; Mulas, J.; Marturia, J.J.; Mallorqui, J.J.; Lopez-Sanchez, J.M.; Herrera, G.; Gutierrez, F.; Gonzalez, P. J.; Fernandez, J.; et al.(2014).
15. Kappel, W.M., Yager, R.M., Todd, M.S. (1999).
16. Autin, W. J. (2002).
17. Wang, J., Gao, W., Xu, S., Yu, L. (2012) .
18. Richa Bhattarai, Haireti Alifu, Aikebaier Maitiniyazi and Akihiko Kondoh (2017).
19. Sato, H.P., Abe, K. and Ootaki, O. (2003)

به ایجاد مشکلاتی در ساختمان‌ها و تجهیزات حمل و نقل (نظیر جاده‌ها، پل‌ها و خطوط ریلی) هستند. تخریب‌های مربوط به زیرساخت‌ها بر خلاف تخریب‌های طبیعی این پدیده محسوس‌تر هستند. یکی دیگر از خسارت‌های مربوط به فرونشست، خسارت به محیط اجتماعی است که شامل جامعه انسانی و سطح توسعه اقتصادی است و خسارت‌های فیزیکی ایجاد شده می‌تواند محیط اجتماعی را به طور مستقیم یا غیر مستقیم تحت تاثیر قرار دهد. خسارت‌های برجسته اقتصادی ایجاد شده توسط فرونشست در سراسر دنیا گزارش شده است(فانت و همکاران،۲۰۱۵)(ژانگ و همکاران، ۲۰۰۳)[1](هولزر و گالووی، ۲۰۰۵)(لیو و همکاران، ۲۰۱۵)[2]. در تصویر۱ خسارت‌های مربوط به فرونشست زمین به صورت شماتیک نشان داده شده است.

پیشینه

در مطالعه منافی آذر(۱۳۹۶) میزان فرونشست در آبخوان دشت جنوبی غربی تهران با استفاده از مدل‌های هوشمند انجام یافت. در این تحقیق با استفاده از داده‌های هیدروژئولوژیکی و ژئوتکنیکی و با استفاده از روش‌های هوشمند، منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی، میزان مناطق محتمل فرونشست دشت جنوب‌غربی تهران تخمین و شناسایی گردید.

در تحقیق پیروزی(۱۳۹۲) فرونشست دشت تهران و شهریار انجام شد. در این تحقیق، بنچ مارک‌ها و چاه‌های مشاهده‌ای منطقه مورد بررسی قرار گرفت و در کنار آن بررسی‌های میدانی جهت مشاهده تأثیرت فرونشست زمین در منطقه شامل بیرون زدگی جدار چاه‌ها، ریزش‌ها و ترک‌های زمین، ترک در سازه‌ها و بررسی معدن‌های موجود انجام گردید. و در نهایت، فرونشست زمین و تغییرات تراز آب زیرزمینی مدل سازی شد.

فرونشست زمین در شهریار با استفاده از تکنیک دی اینسار[3] توسط حبیب زاده هریس(۱۳۹۲) مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، با استفاده از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری دی اینسار فرونشست شهریار در بازه زمانی بین ۲۰۰۶ -۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفته است. امنی(۱۳۹۲) به بررسی تغییرات ضرایب هیدرودینامیکی (T,S)، آبخوان دشت تهران در اثر افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین پرداختند. در این تحقیق با محاسبه مقادیر فرونشست برای نقاط مختلف محدوده، نقشه منحنی‌های هم‌فرونشست سطح زمین ترسیم شد. نقش اندرکنش ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و برداشت آب‌های زیرزمینی در سازوکار و الگوی فرونشست زمین در گستره جنوب باختری تهران توسط محمدپور(۱۳۹۶) انجام یافت. در این تحقیق، فرونشست زمین در دشت تهران با سه روش ترازیابی دقیق، سامانه تعیین موقعیت جهانی و تکنیک تداخل‌سنجی راداری مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیق شمشکی و همکاران(۱۳۸۴) فرونشست زمین در دشت تهران و عوامل موثر در تصویرگیری آن مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیق شایان و همکاران(۱۳۹۱) آسیب‌پذیری سکونت‌گاه‌ها و تأسیسات از مخاطره مورفولوژیکی فرونشست در بخشی از منطقه ۱۸ شهر تهران انجام یافته است. در این تحقیق با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری نرخ و دامنه فرونشست در محدوده مورد مطالعه استخراج گردید و سپس با پردازش اطلاعات در محیط GIS نقشه پهنه بندی خطر تهیه گردید و سپس میزان خطرپذیری منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته است. مطالعه شواهد و تأثیرات مورفولوژیکی مخاطره فرونشست بر تأسیسات و ساختمان‌های مسکونی در منطقه ۱۹ تهران توسط آتشی (۱۳۹۶) انجام یافت. در این پژوهش، با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و سنجنده تراسار ایکس[4] نرخ فرونشست ۶ ماهه تعیین گردید. سپس نقشه پهنه‌بندی خطر تولید شد و طبقات پنج‌گانه خطرپذیری مشخص گردید. توانا(۱۳۹۴) در تحقیقی تحت عنوان برنامه‌ریزی مدیریت بحران سوانح طبیعی(زلزله و فرونشست) استان تهران، آسیب‌پذیری این استان را از نظر زلزله و فرونشست و اهمیت مدیریت بحران در این مناطق مورد تحقیق قرار داده‌اند.

بررسی فرونشست زمین در منطقه جنوب غربی تهران با استفاده از داده‌های ژئودتیک توسط سازمان زمین شناسی(۱۳۹۴) انجام یافت. در این پژوهش، علاوه بر استفاده از روش‌های ترازیابی و پردازش تصاویر راداری، سه ایستگاه دائم در مناطق مختلف

1. Zhang, W.R., Duan, Z.L., Zeng, Z.Q. and Shi, H.P. (2003)
2. Liu, J., Wang, H. and Yan, X. (2015)
3. D-InSAR
4. TerraSAR-X

جنوب غرب تهران به منظور کنترل دائمی فرونشست و بررسی تغییرات مداوم راه‌اندازی گردید و پس از پردازش داده‌ها نتایج ارائه گردیده است. نتایج این پژوهش که با استفاده از ایستگاه‌ها و اطلاعات ژئودتیکی می‌باشد، بیانگر فرونشست در منطقه است که نتایج حاصل از این تحقیق با اطلاعات ترازیابی مطابقت دارد. کرم و همکاران(۱۳۹۰) به ارزیابی و مدل‌سازی فرونشست زمین در جنوب غرب کلان شهر تهران پرداختند. در این پژوهش برای برآورد و مدل سازی فرونشست برپایه متغیرهای طبیعی، ۸ متغیر شامل میزان افت آب زیرزمینی، ضخامت رس، عمق آب زیرزمینی، میزان تخلیه سالانه از آب های زیرزمینی، شیب زمین، ارتفاع زمین، کاربری زمین و زمین شناسی مورد استفاده و بررسی قرار گرفتند. جهت برآورد و مدل سازی از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد. بر مبنای مدل این تحقیق، نقشه پهنه‌بندی برآورد فرونشست در محدوده مورد مطالعه تهیه گردید. در پژوهش بخشایش و همکاران(۱۳۹۴) خطر فرونشست در محدوده مرکزی شهر تهران ارزیابی شده است. در این پژوهش، نتایج بررسی خطر فرونشست زمین در محدوده مرکزی شهر تهران ارائه شده است. در این مطالعه با استفاده از گردآوری اطلاعات محدوده‌های مستعد فرونشست زمین در این ناحیه مورد شناسایی قرار گرفته و علل به وجود آورنده آن بحث شده است. بر اساس این مطالعات دو عامل سطح تراز آب زیرزمینی و خصوصیات ژئوتکنیکی خاک به عنوان عوامل اصلی و دخیل در وقوع فرونشست تعیین شده‌اند. مدل‌سازی پویای فرونشست دشت تهران توسط انگورانی و همکاران(۱۳۹۴) انجام یافت. در این پژوهش رهیافت جدیدی برای پیش‌بینی میزان فرونشست زمین با استفاده از روش‌های هوشمند، مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، پیشنهاد شده و کارایی رهیافت پیشنهادی در یک منطقه مورد مطالعه (دشت جنوب تهران) مورد بررسی قرار گرفته است.

جمع‌بندی مطالعات انجام یافته

مطالعات زیادی در مورد پدیده فرونشست انجام یافته است که در هریک از این مطالعات، پدیده فرونشست از نقطه نظرهای مختلفی در کشور و به صورت محدود در شهر تهران مورد تحقیق قرارگرفته است. که به طور خلاصه شامل محورهای زیر است:

- تعیین نرخ و میزان فرونشست؛
- مدل‌سازی فرونشست؛
- تکنیک‌های مدلسازی فرونشست؛
- عوامل موثر بر فرونشست؛
- ارتباط فرونشست با عوامل زمین‌شناختی و مرفولوژیکی؛
- راهکارهای جلوگیری از فرونشست؛
- آسیب‌های ناشی از فرونشست.

محور بیشتر مطالعات انجام یافته بر مدل سازی و تکنیک‌های مربوط به آن و موارد زمین شناختی و مورفولوژیکی مربوط به این پدیده بوده است و به جز دو مطالعه موردی در شهر تهران که مربوط به مناطق ۱۸ و ۱۹ شهر تهران است، موضوع ریسک یا خطرپذیری این پدیده و المان‌های در معرض این خطر به طور خاص مورد توجه قرار نگرفته است و به عبارت بهتر، بیشتر مطالعات به تحلیل خطر فرونشست مربوط است و کمتر موضوع ریسک در آنها مورد نظر بوده است.

ضرورت

خطرپذیری در مناطق پرخطر تابع میزان خطر و آسیب‌پذیری المان‌های تحت خطر است که می‌تواند تعیین‌کننده وضعیت تاب‌آوری این المان‌ها نیز باشد. خطرپذیری‌ها متنوع هستند که شامل خطرپذیری‌های فیزیکی، اقتصادی- اجتماعی و زیست محیطی می‌گردد. تجزیه و تحلیل خطرپذیری ناظر بر شناسایی آسیب‌پذیری و برآورد تاب‌آوری شهر، محیط زیست، افراد، تاسیسات و زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی است که در معرض خطر هستند. به عبارت بهتر، در تحلیل خطرپذیری، شناسایی المان‌های تحت خطر، میزان در معرض قرارگیری این المان‌ها در برابر خطر و تحلیل میزان آسیب‌پذیری این المان‌ها، باید مدنظر قرارگیرد. با توجه به محدود خطر فرونشست که در فضای مسکونی، تاسیساتی و زیرساختی شهر تهران است، خطرپذیری ناشی از این پدیده و تحلیل آن به منظور اقدامات پیشگیرانه و آمادگی ضرورت می‌یابد. به ویژه که وقوع این پدیده در مناطقی با تراکم سازه‌ای و جمعیتی با توسعه فیزیکی نامناسب شهر و همچنین وجود شریان‌های حیاتی در این منطقه و نیز وجود خطوط راه‌آهن و...، درجات بالایی از خطرپذیری را رقم می‌زند. شناخت و درک میزان

خطرپذیری در این ناحیه می‌تواند زیرساخت مناسبی از منابع داده و اطلاعاتی را برای مدیران و دست‌اندرکاران در راستای پیشگیری از فاجعه فراهم آورد. به همین منظور، این محدوده از نظر المان‌های تحت خطر مورد بررسی قرار گرفته است تا بتواند تصویر واضح و روشنی از میزان درمعرض قرارگیری این المان‌ها ارائه کند.

روش

در این تحقیق، محدوده فرونشست با استفاده از مطالعات پیشین سازمان زمین شناسی کشور تعیین و برای پردازش رقومی و در محیط نرم افزاری GIS وارد شد. لازم به توضیح است که به دلیل مطالعات پیشین انجام شده که شرح آن در پیشینه تحقیق داده شده است، از انجام مطالعات زمین شناسی، تکتونیکی، توپوگرافی و نیز هیدرولوژیکی در محدوده فرونشست در این تحقیق صرف نظر شده است و در معرض قرارگیری المان‌های مهم شهری در این محدوده بیشتر مورد نظر بوده است. نتایج حاصل از این مطالعه کاربردی است و هدف از انجام آن، شناسایی ریسک‌ها و در معرض قرارگیری المان‌های مهم و کلیدی در محدوده فرونشست است. به همین منظور المان‌های مهم شهری در این محدوده شناسایی و سپس به محیط نرم افزاری وارد گردید.

به منظور بررسی برخی از المان‌ها نظیر ساختمان‌ها و ابنیه فنی راه بازدیدهای میدانی نیز از منطقه صورت گرفت. المان‌های مختلف و در معرض خطر مورد نظر در این تحقیق شامل موارد زیر است:

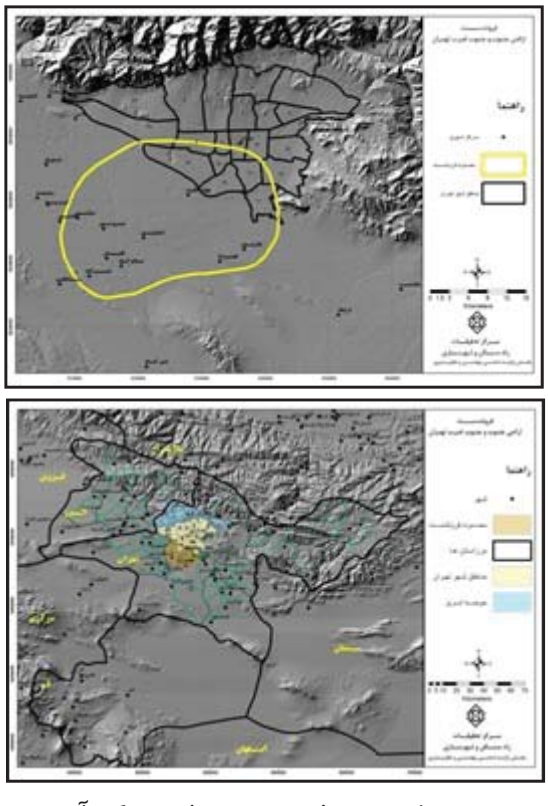
- جمعیت و مراکز جمعیتی مهم نظیر مدارس، آبادی‌ها و شهرها، توزیع شاغلین؛
- ساختمان‌ها و سازه‌ها؛
- سیستم حمل و نقل (راه‌ها، خطوط راه آهن و...)؛
- زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی(خطوط نیرو، گازو...).

در معرض قرارگیری المان‌های مورد نظر در محدوده فرونشست تعیین و مورد تحلیل قرار گرفت و سپس پیشنهاداتی ارائه گردید.

محدوده مورد مطالعه

محدوده رویداد فرونشست که جنوب شهر تهران و گستره‌های جنوبی و جنوب غرب آن را نیز تهدید می‌کند با موقعیت جغرافیایی ۲۸′ ۳۵° تا ۴۱′ ۳۵° طول شمالی و ۵۲′ ۵۱° تا ۲۷′ ۵۱° عرض شرقی واقع شده است که علاوه بر مناطق شهری تهران، نسیم‌شهر، صباشهر، اسلامشهر، باقرآباد، کهریزک، چهاردانگه و نصیرآباد را نیز در بر می‌گیرد.

در تصویر ۱ بر مبنای اندازه‌گیری‌های صورت گرفته شده توسط سازمان نقشه‌برداری، بررسی‌های دورسنجی و مطالعات صورت گرفته توسط سازمان زمین‌شناسی و برخی از مطالعات فردی یا تیمی در مناطقی از پهنه مشخص، تعیین شده است.



تصویر ۱. محدوده فرونشست و نمای نزدیکتر آن

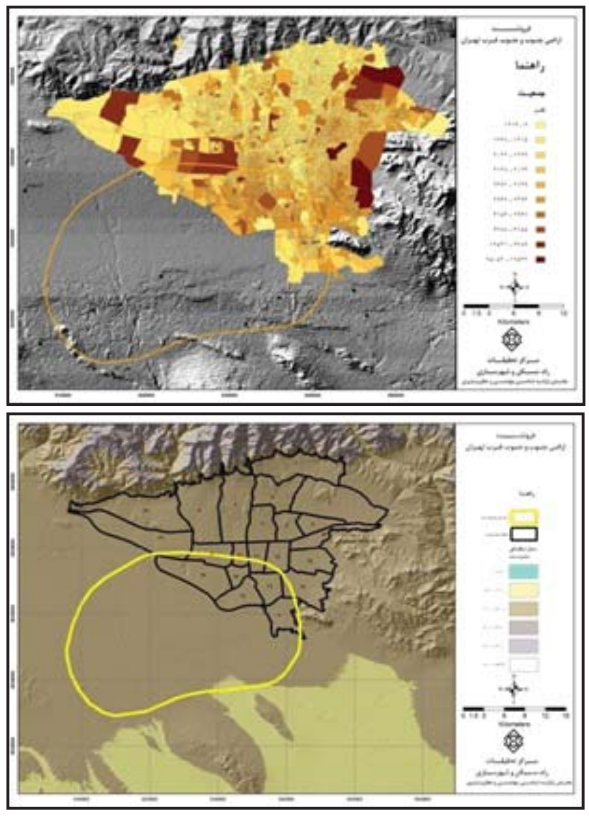
یافته ها

۱. بررسی ریسک جمعیتی

نجات جان انسان‌ها به ویژه در مخاطرات و رویدادهای طبیعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تمام برنامه‌های آمادگی، پیشگیری و مقابله در برابر یک مخاطره طبیعی با هدف به حداقل رساندن آسیب‌های جانی انسان‌ها طراحی می‌گردند. از این رو، اطلاعات جمعیتی و مؤلفه‌های وابسته به آن، اطلاعات مهمی هستند که در مطالعات هدفمند هر پژوهش باید مد نظر قرارگیرد. پدیده فرونشست به طور غیرمستقیم با تخریب زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی، جمعیت را تحت تاثیر قرار می‌دهد، به نظر می‌رسد اطلاعات

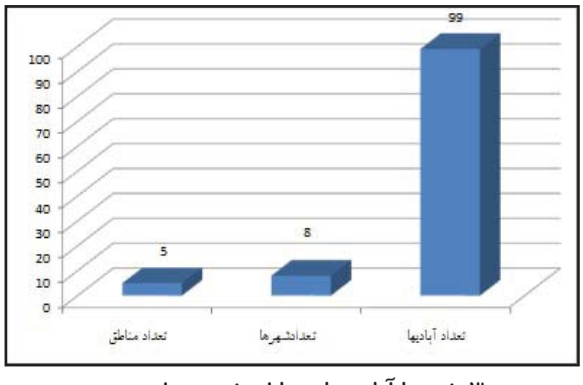
جمعیتی منطقه بتواند در تحلیل ابعاد آسیب‌پذیری این پدیده مفید باشد. به طور کلی، اطلاع از وضعیت جمعیتی یک منطقه می‌تواند فوایدی نظیر شناخت و برآورد جمعیت تحت تاثیر، برآورد نیازها، برآورد میزان آسیب‌های وارده؛ کمک به ارزیابی سریع شدت و دامنه خطر، تقویت برنامه‌های عملیاتی و پیشگیرانه و فرهنگ سازی برای مواجهه با یک رخداد با آموزش افراد را به همراه داشته باشد.

به منظور شناخت و آگاهی از میزان خطرپذیری جمعیتی در برابر پدیده فرونشست، ابتدا محدوده فرونشست مشخص شد و سپس در معرض قرارگیری جمعیت، مورد بررسی قرارگرفت. در این پهنه، محدوده‌های توزیع جمعیتی نشان داده شده است. مناطقی از شهر تهران، شهرها و آبادی‌های زیادی در این محدوده قرار دارند که بیانگر تمرکز بالای جمعیتی در این محدوده و پهنه است. این محدوده از نظر جمعیتی به ۱۰ پهنه تقسیم شده است که نقاط پررنگ در این نقشه نشان‌دهنده مناطق بسیار بالای جمعیتی است که در تصویر۲ نشان داده شده است.

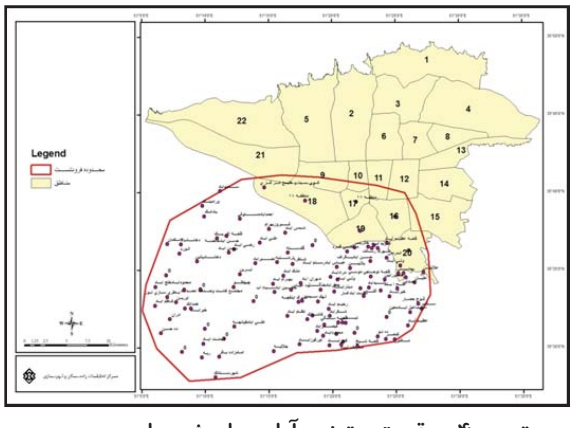


تصویر۲. تقسیمات منطقه‌ای در محدوده فرونشست(سمت راست) جمعیت شهر تهران(سمت چپ)

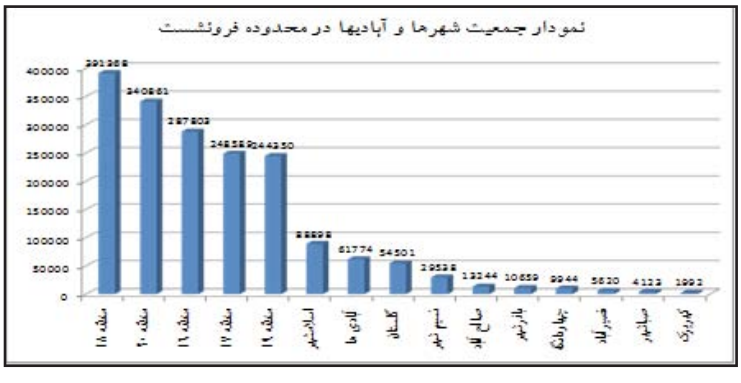
پهنه خطر فرونشست، مناطق و شهرها و آبادی‌های زیادی را در برمی‌گیرد که در تصویر۳ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد؛ ۵ منطقه شهر تهران(منطقه‌های۱۶، ۱۷،۱۸، ۱۹ و۲۰) ۸ شهر و ۹۹ آبادی در این محدوده قرار دارند. موقعیت شهرها و آبادی‌های این محدوده در تصویر۴ نشان داده شده است. جمعیت مناطق و شهرها و آبادی‌ها در محدوده فرونشست در تصویر۵ نشان داده شده است.



تصویر۳. شهرها،آبادی‌ها و مناطق شهر تهران در محدوده

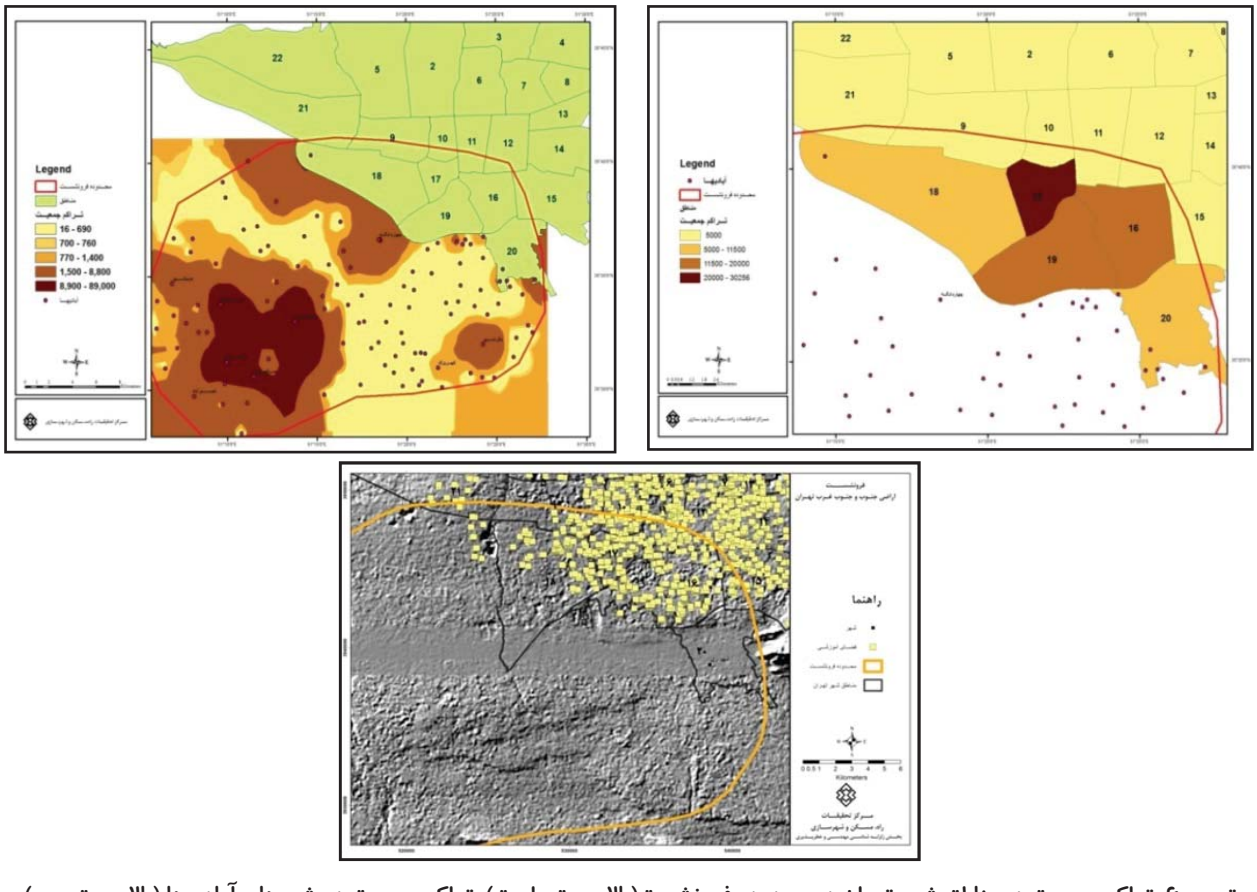


تصویر۴. موقعیت و توزیع آبادی‌ها و شهرها در محدوده

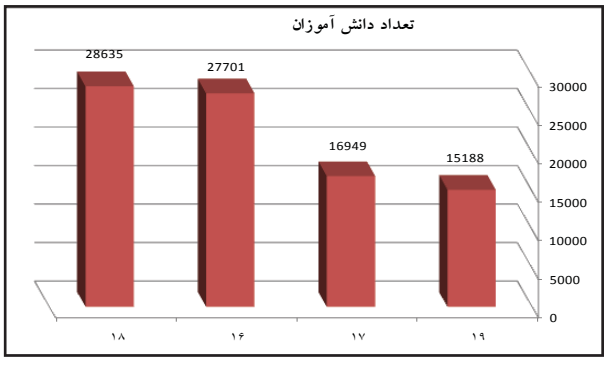


تصویر۵. جمعیت آبادی‌ها، شهرها و مناطق شهر تهران در محدوده فرونشست

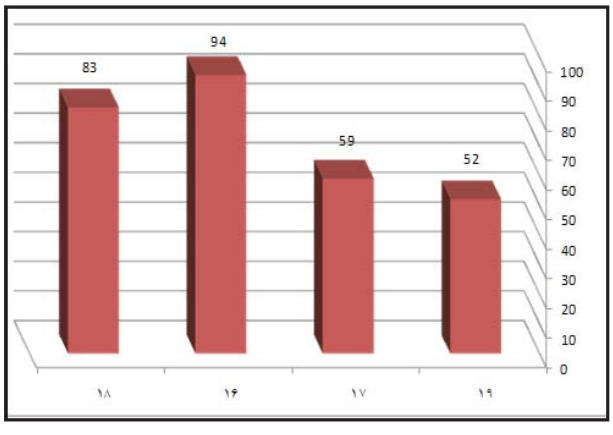
همانطوری‌که در تصویر۵ مشاهده می‌شود، بیشترین جمعیت محدوده مربوط به منطقه ۱۸ شهر تهران با جمعیت ۳۹۱۳۶۸ نفر می‌باشد. در بین شهرهای این محدوده، شهر اسلامشهر با ۸۸۸۹۸ نفر، پرجمعیت‌ترین شهر این محدوده است. به منظور آگاهی بیشتر از توزیع جمعیتی در این منطقه، نقشـــه تراکم جمعیت برای مناطق شهر تهران و نیز شهرها و آبادی‌های اطراف تهیه گردیده است که در تصویر۶ نشان داده شده است. همانطوری‌که در این نقشه‌ها مشاهده می‌گردد، تراکم جمعیت در مناطق شهری شهر تهران بسیار بالا و بیانگر در معرض قرارگیری بالای جمعیتی این منطقه در برابر خطر فرونشست می‌باشد. این محدوده از نظر تراکم جمعیتی در مناطق شهر تهران به ۴ پهنه تقسیم شده است که پهنه قهوه‌ای پررنگ در این نقشه نشان‌دهنده تراکم بسیار بالای جمعیتی است که مربوط به منطقه ۱۷ شهر تهران می‌باشد. تراکم جمعیت در شهرها و آبادی‌های محدوده فرونشست نیز نشان داده شده است. از آنجا که مراکز آموزشی، مدارس، یکی از مهمترین مراکز توزیع جمعیتی می‌باشد و به این دلیل که این مراکز معـــمولا آسیب‌پذیرترین و در عین حال تاثیرگذارترین جمعیت را در بین سایر مراکز جمعیتی دارند، توزیع این مراکز در شهر تهران و در محدوده فرونشست نیز در تصویر۳-۹ نشان داده شده است؛ توزیع مدارس در این محدوده متراکم است که بیانگر میزان بالای درمعرض قرارگیری دانش آموزان در برابر پدیده فرونشست می‌باشد که به دلیل وجود آسیب‌پذیرترین اقشار جامعه و همچنین نقش این قشر از جامعه در فرهنگ‌سازی و آموزش‌های بنیادین حائز اهمیت بوده که توجه ویژه‌ای را می‌طلبد. به منظور آگاهی از میزان توزیع دانش‌آموزان و نیز تعداد مراکز آموزشی در مناطق مختلف شهر تهران در محدوده فرونشست، نمودارهایی تهیه گردید. همان‌طور که در تصویر۷ مشخص است، منطقه ۱۸ با ۲۸۶۳۵ دانش‌آموز بیشترین و منطقه ۱۹ کمترین تعداد دانش‌آموزان را به خود اختصاص می‌دهند. در تصویر۸ تعداد مراکز آموزشی مناطق شهر تهران در محدوده فرونشست نشان داده شده است که بیشترین آن مربوط به منطقه ۱۶ می‌باشد.



تصویر۶. تراکم جمعیت در مناطق شهر تهران در محدوده فرونشست(بالا سمت راست)، تراکم جمعیت در شهرها و آبادی‌ها (بالا سمت چپ)
توزیع فضای آموزشی شهر تهران(پایین)



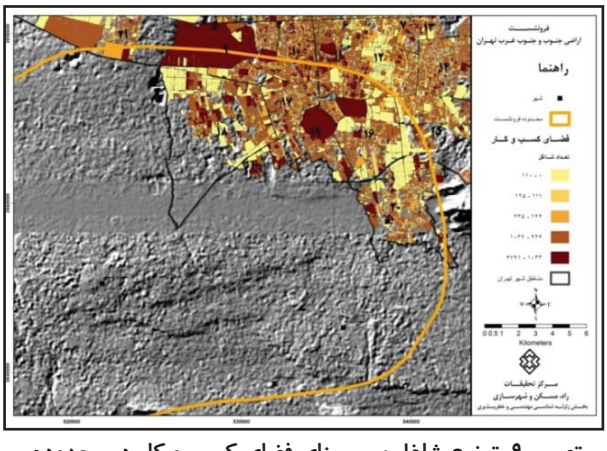
تصویر ۷. تعداد دانش‌آموزان مناطق شهر تهران در محدوده



تصویر ۸. تعداد مراکز آموزشی مناطق شهر تهران در محدوده

تمرکز زیاد جمعیتی در محدوده و وجود بافت فرسوده و نامناسب بودن شبکه‌های دسترسی، آسیب‌پذیری اجتماعی – فرهنگی و اقتصادی بیانگر میزان بالای خطرپذیری در این محدوده است. در این محدوده، علاوه بر تراکم بالای جمعیتی، و مراکزآموزشی و تعداد بالای دانش‌آموزان، شاخص‌های فرهنگی و اقتصادی و آموزشی، پایینی دارد که حاکی از میزان آسیب‌پذیری اجتماعی و اقتصادی بسیار بالاست چراکه شرایط خاص اقتصادی و آموزشی ساکنین، بستر آسیب‌پذیری را ایجاد نموده است.

شاخص‌هایی همچون درآمد اقتصادی و میزان سواد، بر اساس ارقام اقتصادی خانوارهای شهری مستخرج از پایگاه آماری مرکز آمار ایران نشان می‌دهد؛ ساکنین این ناحیه در زمره دهک‌های پایین اقتصادی شهر تهران قرار دارند. این شاخص‌ها نشان می‌دهد این محدوده از نظر اجتماعی-اقتصادی بسیار آسیب‌پذیر است. این شرایط ناظر بر آسیب‌پذیری جمعیت ساکن و شرایط سخت تاب‌آوری در برابر آن است که نیاز به توجه ویژه‌ای دارد تا با راهکارهای مدیریتی، میزان این خطرپذیری به حداقل برسد. در تصویر۹ توزیع جمعیتی بر مبنای آمار کارگاهی و فضای کسب و کار نشان داده شده است. چنین برمی‌آید که در محدوده فرونشست فضاهای کسب و کار با شاغلین قابل توجه وجود دارد که پدیده فرونشست ممکن است بر اشتغال آنها اثرات مستقیم و یا غیرمستقیم داشته باشد. باید بر این نکته تاکید شود که آمار کارگاهی مورد استفاده در این تحقیق به مدت چند سال به روز نشده است و برای بررسی‌های دقیق‌تر لازم است که مجدداً بر روی این آمار کار دقیق صورت پذیرد. در بعضی از محدوده‌های واقع در زون فرونشست که در تصویردیده می‌شود مناطق با کاربری نظامی وجود دارد که در حال حاضر تغییر کاربری شده و به فضاهای تفریحی و پارک تبدیل شده‌اند. در هر حال تصویر۹ بطور نسبی بیانگر اهمیت منطقه فرونشست از نقطه نظر جمعیت شاغلین در زون فرونشست است که می‌تواند مهم باشد.



تصویر ۹. توزیع شاغلین بر مبنای فضای کسب و کار در محدوده

۲- بررسی ریسک فیزیکی

منظور از ریسک فیزیکی خطرپذیری المان‌های سازه‌ای، حمل و نقل، شهرسازی، شریان‌های حیاتی و کلیه مواردی است که به صورت فیزیکی قابلیت آسیب‌پذیری در مقابل فرونشست را دارند. بطور کلی، لازمه تحلیل آسیب‌پذیری برای هر رخداد، شناسای شرایط محیط مورد مطالعه از حیث المان‌های تاثیرگذار و آسیب‌پذیر و تاب آوری آنهاست با توجه به نوع عملکرد و مکانیزم پدیده فرونشست که در بخش‌های قبلی این تحقیق بدان اشاره گردید، قابل ذکر است که در صورت وقوع این رخداد در مناطق شهری و حومه، سه دسته المان تاثیرپذیر بر اساس هندسه و نوع آسیب پذیری وجود خواهند داشت که در ذیل به آنها اشاره شده است.

• **المان‌های نقطه‌ای:**

هندسه این المان‌ها بصورت نقطه‌ای و در یک مختصات خاص واقع شده است. از جمله مهمترین آنها می‌توان به دکل‌های برق و چاه‌ها، پل‌ها و تونل‌ها اشاره کرد.

• **المان‌های خطی:**

این المان‌ها معمولاً از نقطه‌ای به نقطه دیگر کشیده شده‌اند و مسئولیت انتقال را به عهده دارند که از مهمترین آنها می‌توان به راه، راه آهن و شریان‌های حیاتی اشاره نمود.

• **المان‌های محدوده‌ای:**

هندسه این المان‌ها دارای یک سطح گسترده است و ناحیه یا گستره‌ای را پوشش می‌دهد. از جمله مهمترین این حالت می‌توان به نواحی شهری، کارخانجات و صنایع، نیروگاه‌ها، تصفیه‌خانه‌ها و پست‌های برق شهری و فرودگاه‌ها اشاره نمود.

در اینجا باید ذکر نمود که بررسی ریسک فرونشست در مورد هرکدام از این المان‌های فیزیکی نیازمند پژوهش مستقل و سازمان یافته و با دقت و وارسی‌های موشکافانه است که در پیشنهادات این تحقیق نیز آمده است. در این تحقیق تنها به صورت کلی به برخی از موارد به صورت مجزا اشاره می‌گردد.

پدیده فرونشست با توجه به اینکه ایجاد کاهش تراز و نشست ناهمگون در سطح زمین خواهد نمود، نوعی اختلاف تراز تعریف نشده و غیر یکنواخت را در سطح عملکردی المان‌های خطی به وجود خواهد آورد که این امر با توجه به محدودیت پایداری المان‌های خطی که سیستم آنها بر یک محور طولی ثابت تصویرگرفته است، سبب بروز کشش، خمش و یا برش‌های تعریف نشده خواهد گردید. این امر با توجه به محدودیت الاستیسیته مصالح موجود در این ابنیه و تجهیزات، موجب بروز شکست و یا تغییر تصویرهای ماندگار در آنها خواهد گردید. برای مثال در لوله‌های انتقال آّب، فاضلاب و گاز شهری که حجم زیادی از این سیالات حیاتی را در شبانه روز جابه جا می‌کنند، بروز پدیده فرونشست سبب خواهد شد تا لوله از محور افقی خود در مقاطعی خارج شده و یا خاک تکیه‌گاهی زیر لوله پایین رود که همین امر ایجاد خمش و برش در سطح مقطع لوله و یا شکست بست‌ها و اتصالات که دامنه انعطاف‌پذیری محدودی دارند، خواهد نمود و موجبات شکست لوله و خروج سیالات داخلی را فراهم خواهد ساخت، که این مسئله علاوه بر عواقب زیست محیطی و قطع آب و گاز ساکنین، موجبات بروز بحران را در منطقه تشدید خواهد کرد. در تصویر ۱۰ نمونه‌ای از این رخداد نشان داده شده است.

در المان‌های خطی دیگر که نقش حیاتی در انتقال انرژی به عهده دارند (مانند خطوط انتقال برق)، بروز پدیده فرونشست در زیر دکل‌های شهری و یا نوع فشار قوی آنها در حومه شهر، سبب اختلاف تراز بین دکل‌های مجاور شده که این امر در کابل‌های بین دو دکل ایجاد تنش محوری کششی زیادی خواهد نمود و با توجه به محدودیت این کابل‌ها در تحمل تنش کششی، پارگی در کابل و قطع جریان حیاتی برق دور از انتظار نخواهد بود.

از سوی دیگر بروز ناپایداری در بدنه، سازه و فنداسیون دکل‌های برق که در اثر نشست ناهمگون خاک زیر پی آنها ایجاد می‌شود، در بسیاری مواقع سبب سقوط این دکل‌ها خواهد گردید که با توجه به تراکم المان‌های شهری (مسکونی، صنعتی و تجاری)، بسیار خطرناک خواهد بود.

تصویر ۱۰. شکست لوله آب ناشی از بروز پدیده فرونشست در خاک زیرین

۲-۱- ریسک فرونشست در حوزه ساختمان و شهرسازی

در ساختمان‌ها، که در آنها مجموعه‌ای از مصالح با مقاومت، نرمی و الاستیسیته متفاوت بر اساس اصل پایداری تجمیع شده‌اند و تاکید طراحان بر ایستایی سازه در شرایط مختلف برای حفظ انسجام اعضای مختلف سازه می‌باشد، در صورت بروز پدیده فرونشست که با کاهش تراز بستر سازه بصورت ناهمگن (غیر یکسان در نقاط مختلف سازه) همراه خواهد بود، به دلیل اختلاف تراز در نقاط مختلف زیر پی، تنش‌هایی مازاد در المان‌های سازه به وجود آمده و شرایط برای بروز پدیده‌های برش، خمش و پیچش فراتر از سطح طراحی و مقاومت المان‌ها آماده خواهد شد و این امر نتیجه‌ای جز

بروز ترک‌ها، تغییر تصویر اعضا و در انتها گسیختگی و تخریب این المان‌ها نخواهد داشت.

لازم به ذکر است که عناصر غیرسازه‌ای مثل نما و دیوارهای جدا کننده و متعلقات آنها مانند اندودکاری و گچکاری در این پدیده بسیار آسیب‌پذیر بوده و در زمان اندکی از این امر متاثر خواهند گردید. در موارد دیگر، بروز فرونشست به دلیل اینکه هیچگونه یکنواختی اثر در کاهش تراز زیر ساختمان ندارد، موجب کج‌شدگی و بیرون‌زدگی سطح ساختمان نسبت به سازه‌های مجاور خواهد گردید و این یکی از نشانه‌های این پدیده به شمار می‌آید. از نشانه‌های دیگر این پدیده می‌توان به خردشدگی موزاییک، سنگ و یا کف سازی ساختمان‌ها در طبقه پایین به دلیل گودشدگی خاک زیر پی و نشست ناهمگون اشاره کرد. در تصویر ۱۱ و ۱۲ نمایی از این علائم در مناطق مورد مطالعه نشان داده شده است.

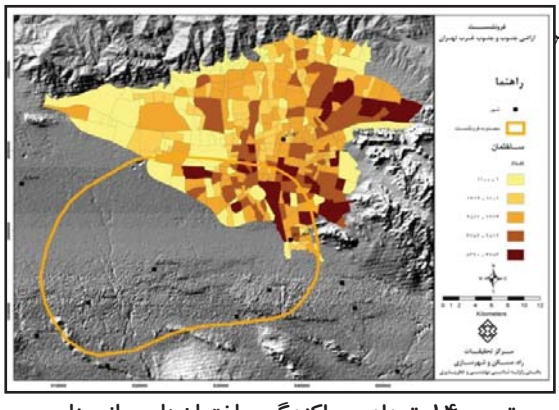
تصویر ۱۱. بروز ترک‌های برشی در ساختمان در اثر فرونشست خاک زیر پی در منطقه مورد مطالعه

تصویر ۱۲. پایین رفتن کف طبقه و بروز خردشدگی در سنگ کف منزل مسکونی و ایجاد اختلاف سطح در دیوار بین دو منزل مسکونی ناشی از بروز فرونشست در منطقه مورد مطالعه

روند فوق از ترک‌های سطحی شروع شده و با ادامه فرونشست، و با افزایش دامنه این پدیده علائمی مانند افزایش عمق ترک‌ها، ایجاد صدای خردشدگی در شیشه‌ها به دلیل ضعف در مقابل تغییرتصویر، بروز پریدگی در کاشی‌کاری و غیره در سازه مشاهده خواهدگردید و این روند در صورت ادامه یافتن تا ریزش و تخریب کامل ساختمان ادامه خواهد یافت. با توجه به مشخص نبودن زمان دقیق گسیختگی در المان‌های اصلی، امکان بروز حوادث برای ساکنین وجود خواهد داشت. از جمله این حوادث می‌توان به واژگونی پی ساختمان در اثر نشست موضعی یا گسترده غیرهمگن، شکست فنداسیون، گسیختگی در المان‌های مقاومتی ساختمان (بر اثر اضافه تنش یا تغییر تصویرهای زیاد)، بروز گسیختگی در اتصالات (جوش، پیچ، پرچ) در اسکلت‌های فلزی، بروز اندرکنش بین ساختمان‌های مجاور (ایجاد ضربه توسط ساختمان یا آوار به ساختمان مجاور)، سقوط آوار به معابر و آسیب به رهگذران یا خودروها، ریزش نماها و اجزای غیرسازه‌ای به خصوص در ساختمان‌هایی که ضوابط فنی اجرا و مهار نما رعایت نشده باشد و مسائل اینگونه، اشاره نمود. با توجه به مسائل اقتصادی و معیشتی موجود و همچنین قدیمی بودن بسیاری از بافت‌ها در این نواحی که شامل محلات پرتراکمی مانند خزانه فلاح، جوادیه، وصفنارد، شهرک ولیعصر(عج)، قلعه مرغی، شهرک فردوس و یا شهرهای حاشیه‌ای پرجمعیت و متراکمی مانند اسلامشهر می‌باشد، موجب شده است تا تعداد بسیار زیادی از سازه‌های بنایی وجود داشته باشد و این امر موجب افزایش سطح آسیب‌پذیری این مناطق در برابر پدیده فرونشست خواهد گردید. همچنین بیان این نکته ضرورت دارد که در اکثر موارد، این نوع بناها در مجاورت معابری با عرض غیراستاندارد (باریک) احداث گردیده‌اند و معمولاً جمعیت ساکن زیادی در این خانه‌ها و مجاورت آنها وجود دارد که این امر سطح بحران را در این مناطق بشدت افزایش خواهد داد. در تصویرهای ۱۲ نمونه‌هایی از این بافت قابل مشاهده می‌باشد.

تصویر۱۳. بافت قدیمی شامل خانه‌های سازه بنایی و معابر باریک و حجم بالای خانه‌های قدیمی و معابر کم عرض در منطقه مورد مطالعه

بر اساس گزارش سازمان نوسازی شهرداری تهران، مناطق ۱۵ تا ۲۰، بافت‌های مسکونی با کیفیت پایین را در شهر تهران دارا می‌باشند. از دید شهرسازی، توام شدن این واقعیت با مباحث دیگری مانند تراکم جمعیتی بالا، وجود بافت‌های صنعتی در مجاورت منازل مسکونی، عدم وجود معابر استاندارد در بخش‌های زیادی از این مناطق و عدم رعایت ضوابط ساخت و ساز در ساختمان‌های جدید به علت مسائل اقتصادی، موجب شده است تا این نواحی از نظر خطرپذیری و آسیب پذیری وضعیتی خاص پیدا کنند به نحوی که نقشه ارائه شده برای بافت فرسوده در مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد از این بافت‌ها در نواحی دارای پتانسیل فرونشست قرار گرفته است. همچنین وجود معابر کم عرض و غیراستاندارد در این بافت‌ها، علاوه بر افزایش احتمال آسیب مضاعف ساختمان‌ها در اثر ریزش سازه مجاور، مباحث مربوط به راه‌های فرار و دسترسی، عبور و مرور وسایل نقلیه، مدیریت بحران و امداد و نجات را نیز دچار تنگنا خواهد نمود. در تصویر۱۳می‌توان به وضوح تجمع سازه‌های بی‌کیفیت و بنایی شهر تهران را در محلات و مناطق جنوبی شهر به‌خصوص منطقه ۱۸ تهران مشاهده کرد. متاسفانه این منطقه علاوه بر دارا بودن ضعیف‌ترین سیستم‌های ساختمانی، جزو متراکم‌ترین بافت‌های شهر

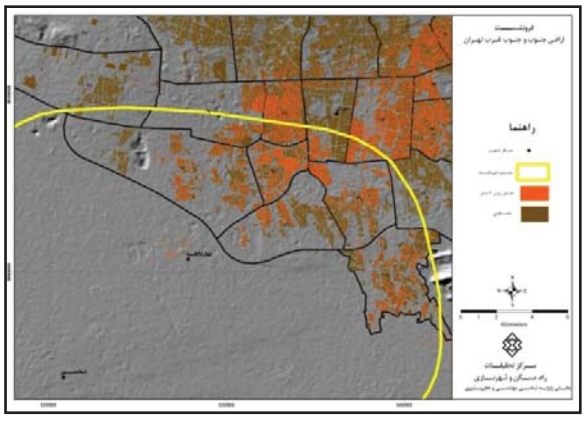


تصویر۱۴. تعداد و پراکندگی ساختمان‌های سازه بنایی

مناطق مسکونی واقع در منطقه ۱۸ به طور عمده مورد استفاده و سکونت اقشار کم درآمد و شاغلین کارگاه‌های تولیدی و صنایع می‌باشد. ماهیت وجودی این مناطق سکونت به تبع شغل می‌باشد. وجود سطوح وسیع کاربری صنعتی و کارگاهی فرامنطقه‌ای در بخش‌های منطقه، استقرار بافت‌های مسکونی حاشیه‌ای در مجاورت شبکه ارتباطی موجود و سطوح وسیع تحت عنوان کمربند سبز حفاظتی که عمدتًا اراضی کشاورزی می‌باشند، شکل خاصی به این منطقه بخشیده است که در هیچ یک از مناطق تهران مشاهده نمی‌گردد.

تصویر۱۵. تراکم بالای ساختمان‌ها در منطقه ۱۸ تهران

همانطورکه در تصویر ۸قابل مشاهده است، علاوه بر تراکم بالای ساختمانی که جزو مهمترین معیارها در بحث شهرسازی می‌باشد، تجمع معابر باریک (زیر۶ متر) نیز در این مناطق دیده می‌شود. این امر مباحث مربوط به مدیریت بحران پس از رخداد فرونشست و سوانح ثانویه را با متصویرات بزرگی روبرو خواهد نمود. در تصویر۱۵، قابل مشاهده است که این وضعیت در بیشتر مناطق مورد مطالعه حاکم است. طبق نقشه‌های پراکندگی ترافیکی تهران بزرگ، این منطقه (منطقه۱۸) جزو پرترافیک‌ترین نقاط تهران نیز می‌باشد.

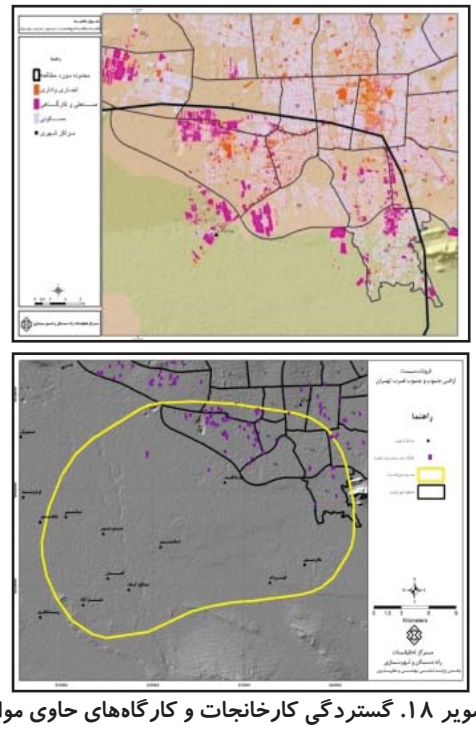


تصویر ۱۶. پراکندگی معابر باریک (زیر ۶ متر) در مناطق مسکونی مورد مطالعه

شهر اسلامشهر نیز به عنوان یکی از پر ترددترین و متراکم‌ترین شهرهای اقماری پیرامون تهران، دارای بافتی غیریکنواخت شامل تعداد زیادی خانه‌های مسکونی با مصالح بنایی و قدیمی ساز است که این امر در بحث فرونشست باعث افزایش آسیب‌پذیری این ناحیه شده است(تصویر۱۷).

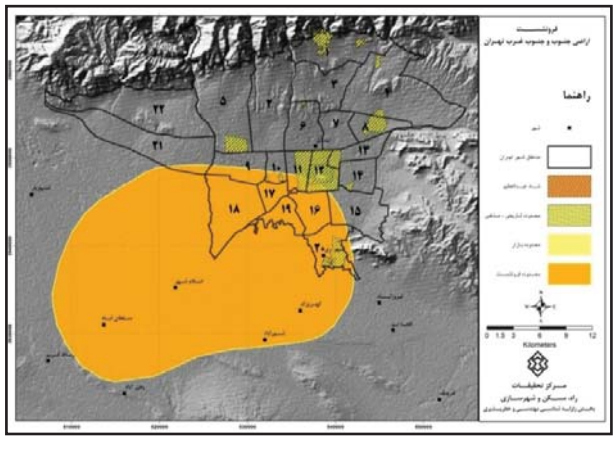
تصویر۱۷. تراکم بالای ساختمانی و جمعیتی در مرکز شهر اسلامشهر در منطقه مورد مطالعه

نکته قابل توجه دیگر این است که به سبب فقدان شناخت و درک پدیده فرونشست توسط گروه‌های خطرپذیر در اینگونه بافت‌های مسکونی و تجاری قدیمی و متراکم، و در نتیجه عدم تلاش آنها در جهت کاهش و تعدیل آن با توجه به این نکته که برابر ارقام اقتصادی خانوارهای شهری مستخرج از پایگاه آماری مرکز آمار ایران، ساکنین این نواحی در زمره دهک‌های پایین اقتصادی شهر تهران قرارداشته‌اند، شرایط خاصی از آسیب‌پذیری با گستره فراگیر از زیرساخت‌های اقتصادی – اجتماعی تا زیست محیطی در این محلات وجود خواهد داشت. علاوه بر آن، در این مناطق کاربری املاک موجود تنوع زیادی دارد. به صورتی‌که در بسیاری از نواحی مستعد فرونشست، کارخانجات صنعتی در دل بافت مسکونی و یا در مجاورت آنها وجود دارند و بسیاری از صنایع تهران در این نواحی گسترده شده‌اند و تعداد زیادی از ساکنین این مناطق نیروهای شاغل در همین کارخانجات و صنایع هستند و از نظر اقتصادی، معیشت آنها وابسته به عملکرد و ادامه حیات این صنایع می‌باشد. با توجه به اینکه این صنایع از نظر عملکردی دارای شرایط خاصی هستند و برای ادامه کار نیاز به نوعی پایداری در تاسیسات خود دارند، در صورت بروز فرونشست در این مناطق، تخریب گسترده‌ای در سیستم عملکردی آنها به وجود خواهد آمد و این امر می‌تواند ضربه سنگینی از نظر معیشتی و اقتصادی به ساکنین این مناطق وارد سازد. همچنین علاوه بر آسیب‌های مستقیم، وجود مواد شیمیایی در حجم بسیار زیاد در این کارخانجات و صنایع، و مجاورت آنها با مناطق مسکونی، احتمال بروز حوادث زیست محیطی، آتش‌سوزی، پخش مواد شیمیایی در هوا و مخاطرات ثانویه دیگر پس از وقوع فرونشست را بالا خواهد برد و این امر با توجه به جمعیت زیاد ساکنین مجاور، بسیار مخاطره‌آمیز خواهد بود. در تصویر۱۷ پراکندگی و مکان کارخانجات و کارگاه‌های صنعتی در کنار بافت‌های مسکونی و کارگاه‌های دارای مواد خطرزا در محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود.



تصویر ۱۸. گستردگی کارخانجات و کارگاه‌های حاوی مواد خطرزا(سمت چپ) پراکندگی اراضی با کاربری مسکونی، تجاری و صنعتی در منطقه مورد مطالعه(سمت راست)

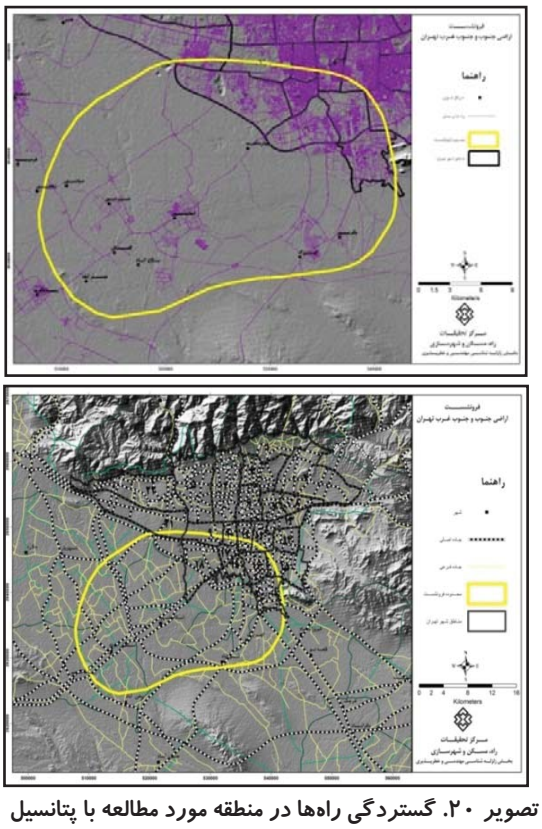
در محدوده فرونشست در مناطقی مانند منطقه ۱۶ تا ۲۰ و نیز حاشیه‌هایی از مناطق ۹ تا ۱۲ را در برمی‌گیرد، اماکن مذهبی و تاریخی بسیار مهمی وجود دارد. شاه عبدالعظیم در منطقه ۲۰ از مهمترین این اماکن می‌باشد. این محدوده‌ها در تصویر ۱۸ نشان داده شده است. علاوه بر این اماکن حاشیه‌های زون فرونشست تا منطقه بازار شهر تهران نیز می‌رسدکه در قسمت مرکزی منطقه ۱۲ قرار گرفته است. منطقه ۱۲ در برگیرنده اماکن تاریخی و از نظر میراث فرهنگی بسیار با ارزش می‌باشد. در تحلیل ریسک فرونشست نکته‌ای که مهم است حاشیه‌های زون بوده که معمولا با وقوع ترک و شکاف همراه می‌گردد. این امر در مورد ساختمان‌های منطقه بازار تهران نیز صادق است که باید توجه اساسی بدان شود.



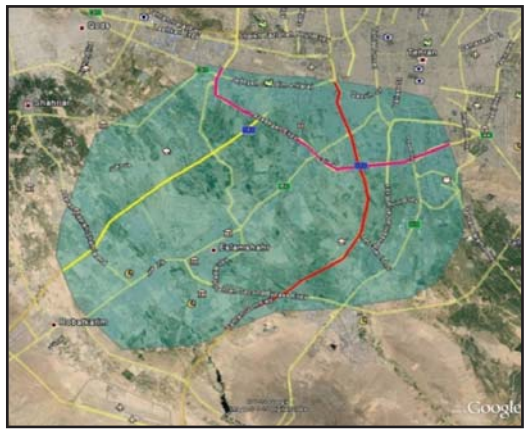
تصویر ۱۹. محدوده‌های مذهبی- تاریخی در زون فرونشست و حواشی آن

۲-۲- بررسی ریسک در راه‌ها

راه‌ها به عنوان حیاتی‌ترین ابزارهای انتقال برای مسافرین، کالاها و امداد و نجات می‌باشند که نقش کاملاً حیاتی در سیستم شهری دارند. پدیده فرونشست با توجه به برهم زدن یکنواختی خاک در زیر راه‌ها، تغییرات سطح را در زیر این المان‌های شهری ایجاد خواهد کرد و با توجه به جنس مواد تشکیل دهنده این المان‌ها، بروز ریزش، گسیختگی، اعوجاج، چاله‌ها، برآمدگی‌ها و انواع ترک در آنها کاملاً محتمل خواهد بود. همچنین در راه‌ها (اعم از راه‌های آسفالته و ریلی) به دلیل تردد دائمی ماشین آلات و یا قطارها، پتانسیل وقوع فرونشست به دلیل ارتعاش و عبور این بار دینامیکی افزایش خواهد یافت. این تشدید به خصوص در زیر ریل‌های راه آهن و جاده‌های ترانزیت با توجه به وزن بالای وسایل عبوری کاملاً تاثیرگذار خواهد بود. در تصویرهای ۱۸ و ۱۹ گستردگی راه‌های آسفالته در محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است. مناطق جنوبی تهران به دلیل وجود محورهای پراهمیت خروجی و ورودی شهر در آنها، اهمیت ویژه‌ای از نظر ترابری دارا می‌باشند. تقریباً اکثر نقل و انتقالات مسافر و کالا از شهرهای مرکزی و جنوبی کشور و بالعکس از این گلوگاه صورت می‌گیرد و همین امر موجب شده است صحت عملکرد و همچنین آسیب‌پذیری سیستم حمل و نقل در این مناطق بسیار مهم و حیاتی باشد. وجود کمربندی آزادگان در این منطقه که حدود ۲۵ کیلومتر از طول این محور در منطقه مورد مطالعه با پتانسیل فرونشست قرار دارد، به عنوان یکی از مهمترین محورهای مواصلاتی حاشیه تهران که حجم بالایی از نقل و انتقالات شهری و برون شهری تهران را به دوش می‌کشد. همچنین اتوبان قم(حدود ۲۸ کیلومتراز طول آن در منطقه مورد مطالعه است)، جاده ساوه (حدود ۲۱ کیلومتر)، بزرگراه بهشت زهرا (س)، بعنوان اصلی‌ترین محورهای جابجایی کالا و مسافر به نواحی جنوبی‌تر، نمونه‌هایی از اهمیت این مناطق را در بحث راه نشان می‌دهند(تصویر ۱۹).



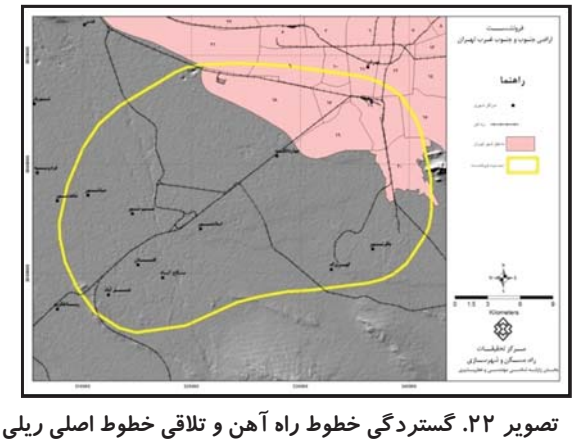
تصویر ۲۰. گستردگی راه‌ها در منطقه مورد مطالعه با پتانسیل بالای فرونشست(بالا)، گستردگی راه‌های اصلی و فرعی در محدوده فرونشست و اطراف آن(پایین)



تصویر ۲۱. محورهای مهم و حیاتی آزادگان، تهران – قم و تهران ساوه در منطقه مورد مطالعه

۲-۳- بررسی ریسک در خطوط ریلی

اصلی‌ترین خطوط ریلی کشور در کشور، در این ناحیه تلاقی پیدا کرده و به نوعی می‌توان این نواحی را قلب تپنده حمل و نقل ریلی کشور به حساب آورد. با توجه به وجود خطوط مهم ریلی کشور (تهران- تبریز، تهران- اهواز، تهران- مشهد) در منطقه مورد مطالعه این تحقیق و وقوع فرونشست در این منطقه، در صورت تاثیر قابل ملاحظه این پدیده و از هم پاشیدگی خاک زیر ریل، احتمال خسارت جدی قطارها وجود خواهد داشت. در تصویر۲۲ خطوط اصلی ریلی منتهی به پایتخت و منطقه دارای احتمال زیاد فرونشست نشان داده شده است.



تصویر ۲۲. گستردگی خطوط راه آهن و تلاقی خطوط اصلی ریلی کشور در منطقه دارای پتانسل بالای فرونشست

با توجه به این نکته که پتانسیل بروز فرونشست در زیر ریل راه آهن به علت تردد شبانه‌روزی قطارها و بروز ارتعاشات ناشی از این بار دینامیکی سنگین، بالاتر خواهد بود و همچنین نزدیک بودن خطوط ریلی در این مناطق به نواحی مسکونی و صنعتی، در صورت بروز فرونشست و واژگونی قطار و یا خارج شدن آن از خط، احتمال برخورد قطار با مناطق مسکونی یا مناطق صنعتی و بروز تلفات انسانی بالا خواهد بود. در تصویرهای ۲۳، ۲۴، ۲۵ وضعیت ریل راه‌آهن با مراکز جمعیتی نشان داده شده است. همچنین این رخداد با توجه به تغیر جهت حرکت قطارها می‌تواند موجب بروز تصادف بین قطارها در خطوط مجاور گردد که تلفات سنگینی را به دنبال خواهد داشت.

تصویر ۲۳. عبور خطوط ریلی از مجاورت مناطق مسکونی با تراکم بالای ساختمانی و جمعیتی

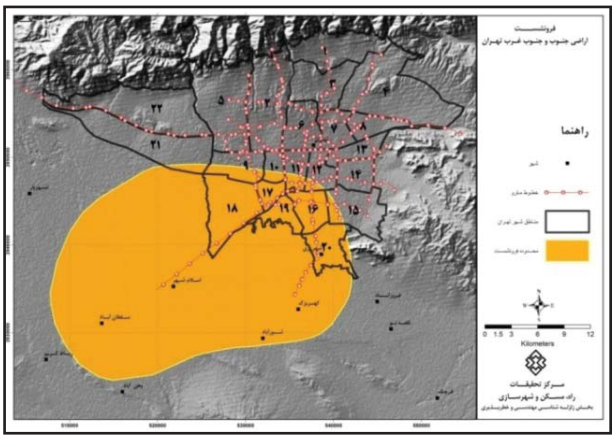
تصویر ۲۴. فاصله کمتر از ۲۰ متری ریل با منطقه مسکونی شهرک مدرس

تصویر ۲۵. نزدیکی خط راه آهن به مناطق مسکونی و صنعتی در جنوب تهران

تصاویر فوق نشان می‌دهد خطوط ریلی از مجاورت مناطق مسکونی با تراکم بالای ساختمانی و جمعیتی عبور می‌کند و فاصله این خطوط تا مرز این نواحی بسیار کم (در برخی موارد کمتر از ۲۰ متر) است.

۲-۴- بررسی ریسک خطوط مترو

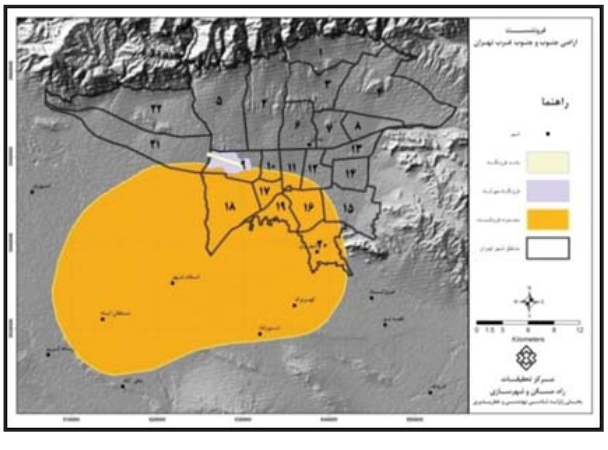
خطوط حمل و نقل عمومی ریلی شهری (مترو) طولی در حدود ۲۵ کیلومتر درون محدوده مورد مطالعه فرونشـــست را دارا می‌باشند که در تصویر۲۶ می‌توان آن را مشاهده نمود.



تصویر ۲۶. خطوط مترو واقع در منطقه دارای پتانسیل بالای فرونشست

۲-۵- فرودگاه

فرودگاه یکی از المان‌های بسیار مهم و تاثیرگذار در جابجایی مسافر و کالا و خدمات به شمار می‌رود و به دلیل حجم بالای جابجایی مسافر و تاثیرگذاری بسیار حیاتی در فعالیت‌های امدادی، اهمیت بسیار زیادی دارد. در تصویر ۲۷ موقعیت فرودگاه مهرآباد در محدوده فرونشست نشان داده شده است تشدید پدیده فرونشست در فرودگاه می‌تواند اثرات اقتصادی جبران ناپذیری را تحمیل نماید.

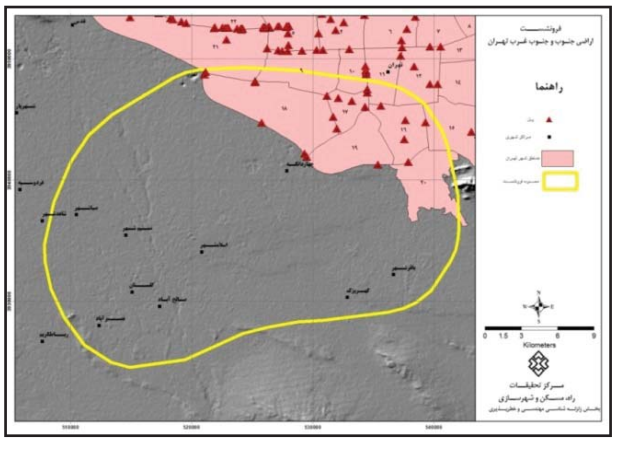


تصویر ۲۷. موقعیت فرودگاه در منطقه فرونشست

نکته مهم قرارگیری فرودگاه مهرآباد در حاشیه زون فرونشست است و ممکن است در حال حاضر عوارض سطحی فرونشست در گستره فروگاه مشاهده نشود، ولی آنچه که مسلم است در صورت ادامه وضعیت کنونی، اراضی فرودگاه نیز متحمل اثرات ناشی از فرونشست خواهد شد.

۲-۶- ابنیه فنی راه

یکی دیگر از المان‌های تاثیرگذار در شهرسازی و حمل و نقل، ابنیه فنی موجود در راه‌ها به‌خصوص ابنیه ارتباطی مانند پل‌ها و زیرگذرها هستند. عدم صحت عملکرد هریک از این ابنیه علاوه بر ایجاد زمینه تخریب یا آسیب دیدگی آن، شرایط انسداد یا اختلال در یکی از راه‌ها را فراهم خواهد کرد. پدیده فرونشست در صورت رخداد، نظم سازه‌ای این المان‌ها را بر هم خواهد زد و با تخلیه خاک تکیه‌گاهی به‌خصوص در زیر دیواره‌های نشیمن پل‌ها، موجب بوجود آمدن گسیختگی در جداره این دیواره‌ها خواهد گردید. همچنین در صورت وقوع این پدیده در زیر پایه‌ها و فنداسیون پل‌ها، احتمال ریزش یا واژگونی آنها بسیار زیاد می‌باشد. در تصویر۲۸ پل‌های مهم در مناطق مورد مطالعه (در محدوده تهران) نشان داده شده است. ابنیه فنی با گذشت زمان به علت عبور و مرور وسایل نقلیه و بروز ارتعاشات دینامیکی دچار تغییراتی شده و این امر سبب ضعف سازه‌ای آنها در مقابل تغییرات خواهد گردید. عمیق شدن ترک‌های برشی، بروز خیز در عرشه، و اختلاف تراز پایه‌ها ناشی از فرونشست نیز یکی از مهمترین نشانه‌های این امر است که در مناطق مورد مطالعه قابل مشاهده است. برای مثال در تصویر ۲۹ بروز ترک‌های ناشی از فرونشست در پل آزادگان بعنوان یکی از پل‌های ترانزیتی منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است.



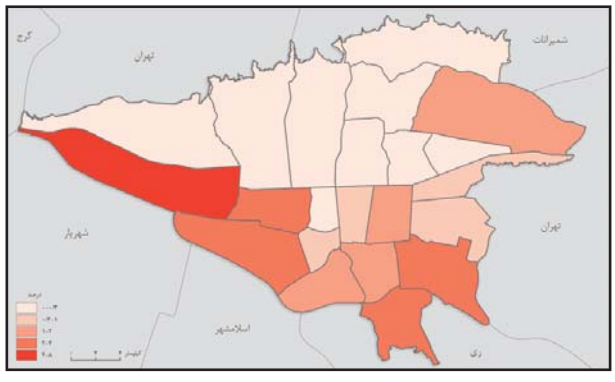
تصویر ۲۸. پراکندگی پل‌ها در منطقه مورد مطالعه در جنوب و جنوب غرب تهران

تصویر ۲۹. بروز ترک‌های برشی ناشی از فرونشست زمین در پل آزادگان (تقاطع بزرگراه شهید رجایی)

۲-۷- صنایع و تاسیسات شهری

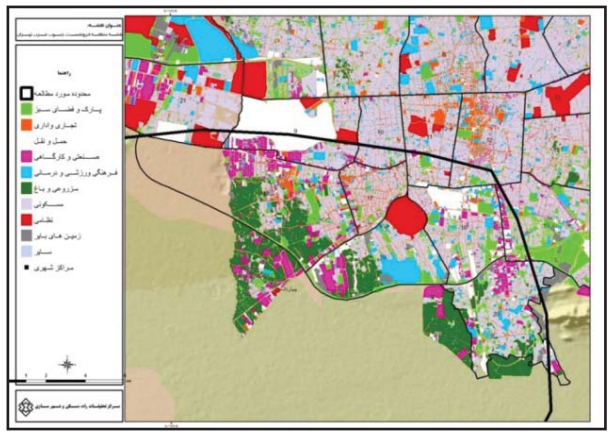
تجهیزات و تأسیسات شهری یکی از نقاط حساس در هر منطقه‌ای از حیث زیرساخت می‌باشند، به نحوی که عدم عملکرد صحیح هرکدام از آنها می‌تواند امکانات اولیه زندگی در هر ناحیه را مختل نماید. متاسفانه این تاسیسات به دلیل عملکرد سیستماتیک بر اساس الگوی هندسی ثابت و پایدار، در برابر اثرات ایجاد شده در برابر تغییر تصویرهای ماندگار بسیار ضعیف بوده و برای مثال در صورت بروز فرونشست و خارج شدن این المان‌های محدوده‌ای از دامنه تعریف هندسی عملکردی، از کار می‌افتند و در بسیاری از مواقع این امر توام با حوادث ثانویه مانند آتش سوزی خواهد بود.

در منطقه مورد مطالعه که قسمت‌های جنوبی تهران و حومه را در برگرفته است، به دلیل کاربری نیمه صنعتی اراضی موجود، جمع کثیری از کارخانجات صنعتی و تاسیسات شهری وجود دارد و نکته قابل توجه آنجاست که در بسیاری نقاط، حضور این‌گونه فضاها در مجاورت منازل مسکونی است و نوعی بافت تلفیقی به وجود آورده است. اهمیت این امر از آنجاست که در صورت بروز هرگونه سانحه در اثر بروز فرونشست در این صنایع و کارخانجات، علاوه بر آسیب مستقیم این صنایع و قطع امکانات رفاهی و عمومی ساکنین مانند برق، امکان بروز آلودگی‌های زیست محیطی شدید در بین بافت‌های مسکونی و ساکنین آنها وجود دارد. در تصویر ۳۰ که به پراکندگی واحدهای صنعتی تهران می‌پردازد، به وضوح قابل مشاهده است که اغلب بافت‌های صنعتی تهران در نواحی جنوب و جنوب غرب و همچنین درون منطقه مورد مطالعه با پتانسیل فرونشست قرار دارند.



تصویر ۳۰. پراکندگی واحدهای صنعتی موجود در تهران

در این منطقه کارخانه‌های فراوانی از جمله ایران خودرو دیزل، لوله‌سازی ایران، لاستیک‌سازی تایواتر، شرکت‌های روغن نباتی مانند: مارگارین و ورامین، شرکت‌های ریسندگی، سیمان، پالایشگاه(نفت پارس، نفت بهران و غیره)، کارخانه‌های لبنی(شیر و پاستوریزه پاک و پگاه تهران)، مراکز دانشگاهی و مدارس فنی و حرفه‌ای، شهرک‌های صنعتی متعدد، بازار مبل، کارخانه نوشابه سازی و... است که دارای انبارهای مملو از مواد اولیه شیمیای و خوراکی هستند و اگر بر اثر فرونشست یکی از مخازن نگهداری مواد نفتی دچار ترک‌خوردگی و نشت مواد گردند، امکان بروز آسیب‌های غیرقابل جبران به محیط اطراف وجود داشته و یا ممکن است موجب انفجار و آتش‌سوزی وسیعی در سطح منطقه شود. در تصویر ۳۱ تنوع کاربری اراضی موجود در منطقه مورد مطالعه، نشان داده شده است.



تصویر ۳۱. تنوع و پراکندگی کاربری اراضی در منطقه

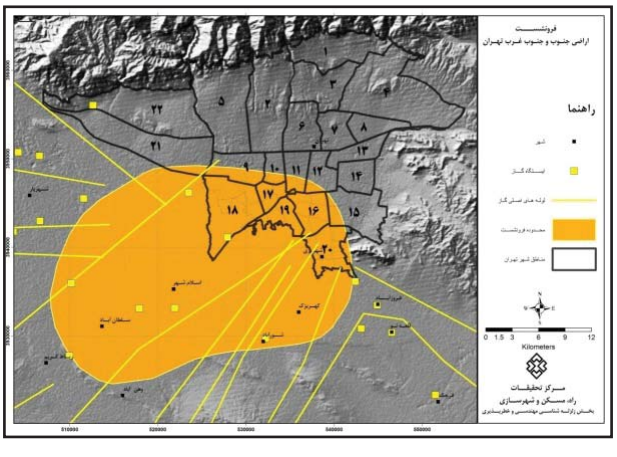
۲-۸- شریان‌های حیاتی و تاسیسات وابسته

در اینجا شریان‌های حیاتی در محدوده فرونشست به صورت اجمالی بررسی می‌گردد. بررسی دقیق‌تر ریسک مرتبط با شریان‌های حیاتی که از مهمترین ریسک‌های مرتبط با پدیده فرونشست می‌باشند، نیازمند تحقیقات میدانی و کسب اطلاعات دقیق‌تر و به‌روزتری است.

• شبکه گاز

خطوط لوله‌های گاز، ایستگاه‌های تقلیل هشار و خطوط اصلی گاز در در محدود فرونشست در منطقه ۱۸ در تصویر ۳۲ به‌وضـــوح قابل مشاهده است.

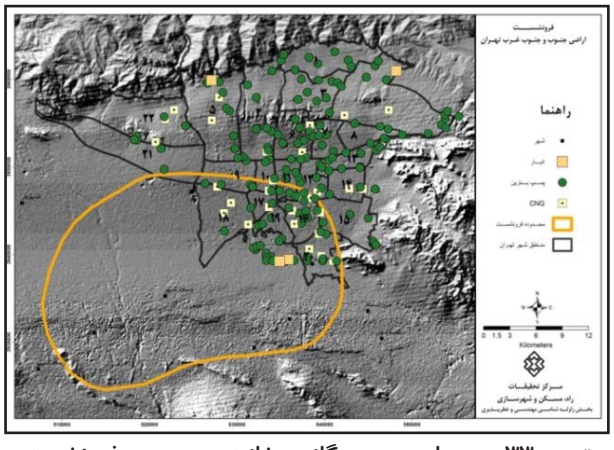
نکته قابل ذکر در این تصویراین است که اطلاعات رقومی مربوط به شبکه گاز متعلق به چند سال قبل بوده و در حال حاضر به دلیل افزایش جمعیت، ساخت و ساز، احداث کارگاه‌ها و تاسیسات مختلف، مسلماً ریسک مرتبط با شبکه گاز فزون‌تر گردیده است. عدم وجود اطلاعات و یا عدم دسترسی به اطلاعات رقومی موجب شده است که در این تحقیق گاهی به داده‌های قدیمی‌تر اکتفا شود.



تصویر۳۲. شبکه اصلی گاز در محدوده فرونشست

• مخازن و پمپ بنزین و گاز

در تصویر ۳۳ توزیع مخازن، پمپ بنزین‌ها و پمپ گازها نشان داده شده است. میزان و تعداد قرارگیری آنها در محدوده فرونشست بدون تردید قابل توجه بوده و نیازمند توجه جدی می‌باشد. ایستگاه‌های پمپ بنزین و گاز دارای مخازن بزرگ سوخت هستندکه در صورت خسارت آنها تاثیرات زیادی بر اقتصاد و محیط زیست وارد می‌شود. همچنین مخاطرات ثانویه آن، از قبیل آتش سوزی‌های گسترده به‌مراتب مخرب‌تر است.

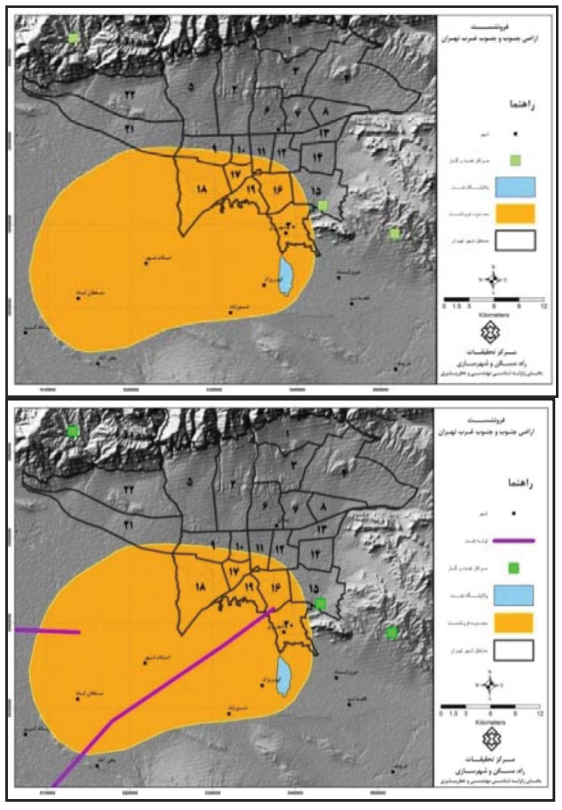


تصویر۳۳. پمپ‌های بنزین و گاز و مخازن در محدوده فرونشست

• پالایشگاه نفت

در تصویر ۳۴ موقعیت پالایشگاه تهران در غرب کهریزک نشان داده شده است. مجموعه پالایشگاه در حاشیه زون فرونشست قرار گرفته است و از این نقطه نظر ممکن است زمین آن متحمل ترک و شکاف‌های متعددی گردد که در برخی مناطق در حواشی زون‌های فرونشست مشاهده می‌گردد. علاوه بر گستره پالایشگاه تجهیزات و شبکه‌های وابسته به آن نیز از اهمیت خاصی در مواجهه با فرونشست برخوردارند. لوله‌های نفت، بنزین و ... انشعاباتی هستند که معمولا از پالایشگاه‌ها به سمت مراکز مصرف گسترده می‌شوند و این ناحیه نیز دارای همین شبکه سوخت‌رسانی می‌باشد. توجه جدی، پایش دائمی از الزامات کاهش ریسک فرونشست در پالایشگاه و مجتمع‌های وابسته آن خواهد بود.

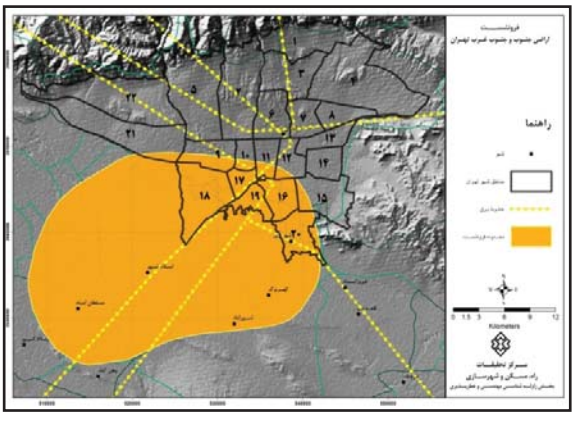
همچنین در تصویر ۳۴ موقعیت لوله‌های نفت نشان داده شده است که بر اساس اطلاعات رقومی موجود و در دسترس بوده و ممکن است نیاز به تدقیق داشته باشد. واضح است که در این محدوده بر طول و تعداد چنین شریان‌های حیاتی اضافه شده است. این تصویر با هدف نشان دادن ریسک فرونشست در حوزه شریان‌های حیاتی تهیه شده است. لازم است در ادامه تحقیقات، میزان مواجهه خطوط نفت با زون فرونشست، بطور دقیق تعیین شود. در صورت ادامه روند نشست، احتمال گسیختگی در خطوط انتقال نفت، وجود دارد.



تصویر ۳۴. قرارگیری لوله‌های نفت در محدوده فرونشست(بالا)
قرارگیری پالایشگاه تهران (پایین)

● **خطوط نیرو**

گستردگی خطوط فشارقوی برق در محدوده فرونشست چشمگیر است. فرونشست در پایه دکل‌های فشار قوی و افت ارتفاعی آنها و احتمال کج شدن آنها موجب می‌شود که از نظر انتقال نیرو به مساله فرونشست، دقت بیشتری شود. موقعیت این دکل‌ها در محدوده فرونشست در تصویر ۳۵ نشان داده شده است. علاوه بر آن، انشعابات فرعی‌تر، پست‌ها و شبکه توزیع برق در زون فرونشست توزیع شده‌اند که نیازمند پایش دائمی از دیدگاه خطر فرونشست می‌باشند.



تصویر ۳۵. قرارگیری خطوط فشار قوی برق در محدوده فرونشست

نتیجه گیری

بر اساس اندازه‌گیری و گزارش‌های اولیه سازمان‌های نقشه‌برداری و زمین‌شناسی گستره فرونشست، تنها در محدوده جنوب و جنوب غرب تهران که مناطقی از تهران را نیز در برمی‌گیرد، ناحیه‌ای به ابعاد تقریبی ۲۰*۳۰ کیلومتر (حدود ۶۰۰ کیلومتر مربع) می‌باشد. لازم به ذکر است که این محدوده اندکی وسیع‌تر از ناحیه فرونشست تعیین شده بر اساس داده‌های راداری است. این کار با توجه به زمان مطالعات رادرای و با فرض گسترش زون فرونشست و با دیدگاه احتیاطی انتخاب شده است.

به طورکلی المان‌های متعدد آسیب‌پذیری در این زون قرار دارند که تحلیل کمی ریسک آنها در مقابل فرونشست نیازمند کار پژوهشی جداگانه و مفصلی است. توجه به این نکته لازم است که داده‌های رقومی مورد استفاده در این نوشتار با توجه به امکانات موجود و در دسترس بودن و امکان اخذ آنها به نقشه در آورده شده‌اند. هدف این تحقیق توجه به خطرپذیری فرونشست این المان‌ها و اقدامات پیشگیرانه در مورد آنها است.

براساس اطلاعات رقومی موجود و در دسترس، طول خط راه‌آهن قرار گرفته در زون فرونشست حدود ۱۲۰ کیلومتر است. همچنین بر همین اساس ۲۵ کیلومتر از خطوط مترو در همین زون واقع‌اند. اتوبان‌های بین شهری نیز در محدوده فرونشست گستردگی طویلی دارند که جمع طول آنها حدود ۲۰۰ کیلومتر است.

راه‌ها و معابر شهری و بین شهری اصلی و فرعی نیز طولی در حدود ۲۳۰۰ کیلومتر را در محدوده فرونشست دارند. حدود ۲۱ دهنه پل در منطقه فرونشست قرار گرفته است که به عنوان نقاط مهم ارتباطی مسیرها به هم تلقی می‌شود. برخی از این پل‌ها در منطقه فرونشست دچار ترک و شکاف در اثر فرونشست شده‌اند.

۲ انبار مواد نفتی و سوختی و حدود ۴۴ جایگاه پمپ بنزین و ۱۵ جایگاه پمپ گاز در زون فرونشست واقع شده‌اند. در زون فرونشست حدود ۷ ایستگاه گاز قرار دارد. طول لوله نفت بر اساس داده‌های موجود ۳۰ کیلومتر، خطوط فشار قوی بیش از ۷۰ کیلومتر و خطوط اصلی گاز دارای طولی بیش از ۲۰۰ کیلومتر می‌باشند.

در پهنه فرونشست تعیین شده بر اساس مطالعات تصویربرداری راداری، ۵ منطقه شهری تهران، ۸ شهر، ۹۹ آبادی واقع شده‌اند.

جمعیت شهری تهران که بر روی زون فرونشست و حواشی آن زندگی می‌کنند، ۱۲۶۴۳۸۲ نفر و جمعیت غیر شهر تهران آن ۵۲۸۸۸۲ نفر می‌باشد. بدین ترتیب جمعیت کل بر اساس اطـــلاعات مرکز آمار که در زون فرونشـــست ساکن می‌باشند، حدود ۱۷۹۳۲۶۴ نفر خواهد بود. جمعیت دانش‌آموزی شهر تهران در زون فرونشست ۸۸۴۷۳ نفر است. تعداد شاغلین نواحی شهری تهران در روی محدود فرونشست حدود ۸۸۵۹۷ نفر تخمین زده شده است.

بر اساس آمار و اطلاعات موجود، تعداد ساختمان‌های شهر تهران که در زون فرونشست واقع‌اند۲۵۱۴۸۰ می‌باشد. مراکز آموزشی شهر تهران نیز ۲۸۸ و تعداد بیمارستان و مراکز بهداشتی شهر تهران که در محدوده فرونشست واقع شده‌اند، ۵۷ عدد می‌باشد. در محدوده فرونشست کارگاه‌های تولید و یا حاوی مواد خطرزا حدود ۶۶ کارگاه می‌باشد.

قرارگیری فرودگاه مهرآباد در حاشیه اراضی و زون فرونشست زمین یکی از مهمترین عوامل ریسک فرونشست را در این محدوده بوجود آورده است کهامکان پدیداری ترک‌ها و شکاف‌های سطح زمین را فراهم می‌سازد.

نکته مهم دیگر واقع شدن تعدادی از گسل‌های لرزه‌زای منطقه در زون فرونشست است. طول گسل‌های موجود در محدوده فرونشست حدود ۱۶۵ کیلومتر برآورد شده است.

پیشنهادات

براساس موارد مذکور، پیشنهادات زیر با هدف کاهش ریسک فرونشست قابل ارائه است.

- تهیه سامانه لایه‌های اطلاعاتی بر پایه GIS و webGIS .
- ارزیابی خطر فرونشست با اندازه گیری‌ها و پردازش‌های مستمر دورسنجی و راداری و ایستگاه‌های دقیق GPS.
- ارزیابی بیلان آب زیرزمینی، وضعیت چاه‌های آب زیرزمینی، میزان پمپاژ آب و برآورد دبی بهینه کلی برای محدوده.
- بررسی دقیق ماسه‌دهی چاه‌های آب.
- مطالعات ژئوفیزیکی با هدف شناسائی ترک‌ها، شکاف‌ها و حفره‌های زیرسطحی.
- شناسایی دقیق رخنمون خاک و مقاطع قابل اعتماد خاک در منطقه با استفاده از اطلاعات گمانه‌ها و مطالعات ژئوتکنیکی.
- پهنه‌بندی ریسک فرونشست در منطقه جنوب و جنوب غرب تهران شامل ریسک المان‌های سازه‌ای و ساختمانی، ریسک المان‌های شهرسازی، ریسک سامانه‌های حمل و نقل، ریسک شریان‌های حیاتی، ریسک جمعیتی و ریسک زیست محیطی فرونشست.
- بررسی تجربیات کشورهای مختلف در زمینه مقابله با فرونشست زمین.
- ارائه راهکارهای کاهش ریسک فرونشست زمین در اراضی جنوب و جنوب غرب تهران.
- تدوین برنامه عملیاتی پایش و مونیتورینگ و کنترل فرونشست.
- تدوین برنامه عملیاتی کاهش مخاطرات فرونشست.

منابع

۱. حافظی مقدس، ن. و غفوری، م. (۱۳۸۸)- زمین شناسی زیست محیطی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

۲. انگورانی، سعید، معماریان، حسین، شریعت پناهی،مسعود و بلورچی، محمد جواد(۱۳۹۴). مدل‌سازی پویای فرونشست دشت تهران، مجله علوم زمین تهران، پاییز ۹۴، سال بیست و پنجم، شماره ۹۷، صفحه ۲۱۱ تا ۲۲۰.http://www.gsjournal.ir/article_41506.html

3. Hu, B., Wang, J., Chen, Z., Wang, D. and Xu, S. (2009). Risk Assessment of Land Subsidence at Tianjin Coastal Area in China. Environmental Earth Sciences, 59, 269-276. https://doi.org/10.1007/s12665-009-024-6

4. Corapcioglu, M. Y. (1989). Land subsidence: a state of art review. Fundamentals of transport phenomena in porous media. ASI series. Martinus Nijhott Publishers, Dordrecht, pp. 369-444. https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-009-6175-3

5. Strozzi, T. and Wegmuller, U. (1999). Land Subsidence in Mexico City mapped by ERS differential SAR interferometry. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1999. IGARSS `99 Proceedings. IEEE 1999 International. https://ieeexplore.ieee.org/iel5/6246/16826/00774993.pdf

6. Holzer, T.L. and Galloway, D.L. (2005). Impacts of Land Subsidence Caused by Withdrawal of Underground Fluids in the United States. Reviews in Engineering Geology, XVI, 87-99. https://doi.org/10.1130/2005.4016(08).

7. Yamaguchi, R. (1969). Water level change in the deep well of the University of Tokyo. Bull Earthquake Res Inst No.47. https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/NSF/PB275864T.pdf

8. Adrian, O.G.; Rudolph, L.D.; Cherry A.J. (1999). Analysis of long-term land subsidence near Mexico City: Field investigations and predictive modeling. Water Resource. Res. 1999, 35, 3327–3341. https://www.researchgate.net/

S.E. (eds) Land Subsidence in United States, vol. 1182., US Geological Survey, Reston, pp. 111-120. https://pubs.usgs.gov/circ/circ1182/pdf/14Retsof.pdf

19.Autin, W. J. (2002). Landscape evolution of the five islands of south Louisiana: scientific policy and salt dome utilization and management. Geomorphology 47(2-4), pp. 227-244. adsabs.harvard.edu/abs/2002Geomo..47..227A

20.Wang, J., Gao, W., Xu, S., Yu, L. (2012) .Evaluation of the Combined Risk of Sea Level Rise, Land Subsidence and Storm Surges on the Coastal Areas of Shanghai, China. Climatic Change , 115, 537-558.https://doi.org/10.1007/s10584-012-0468-7

21.Richa Bhattarai, Haireti Alifu, Aikebaier Maitiniyazi and Akihiko Kondoh (2017). Detection of Land Subsidence in Kathmandu Valley, Nepal, using DInSAR Technique". Land, Volume 6(2):39. doi:10.3390/land6020039

22.Sato, H.P., Abe, K. and Ootaki, O. (2003).GPS-Measured Land Subsidence in Ojiya City, Niigata Prefecture, Japan. Engineering Geology, 67, 379-390. https://www.researchgate.net/publication/238378499_GPS-measured_land_subsidence_in_Ojiya_City_Niigata_Prefecture_Japan

23.Faunt, C.C., Sneed, M., Traum, J. and Brandth, J.T. (2015). Water Availability and Land Subsidence in Central Valley, California, USA. Hydrogeology Journal, 24, 675-684. https://doi.org/10.1007/s10040-015-1339-x

24.Zhang, W.R., Duan, Z.L., Zeng, Z.Q. and Shi, H.P. (2003). Evaluation on Economic Losses Resulted from Land Subsidence in Shanghai: 1921-2000. Journal of Tongji University, 31, 743-748. https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2057465

25.Liu, J., Wang, H. and Yan, X. (2015). Risk Evaluation of Land Subsidence and Its Application to Metro Safety Operation in Shanghai. The Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 372, 543-553.https://doi.org/10.5194/piahs-372-543-2015

۲۶. منافی‌آذر، علی (۱۳۹۶). پیش بینی میزان فرونشست در آبخوان دشت جنوب غربی تهران با استفاده از مدل‌های هوشمند، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه
https://ganj-beta.irandoc.ac.ir/#/articles/33060801683f580eb6c73fa9bc98bd59

۲۷. پیروزی، آرش (۱۳۹۲). بررسی تحلیلی و آزمایشگاهی فرونشست خاک های جنوب تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی دانشکده فنی و مهندسی
. https://ganj-beta.irandoc.ac.ir/#/articles/84952a6002b3bdf15cd360d5b275fce1

۲۸. حبیب زاده هریس، محمد صادق (۱۳۹۲). بررسی فرونشست زمین در شهریار با استفاده از تکنیکD-InSAR. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد دانشکده مهندسی عمران.
https://ganj-beta.irandoc.ac.ir/#/articles/afec9e0dfc26a1fae-469923167ddfe64

۲۹. امنی،حامد، (۱۳۹۲). بررسی تغییرات ضرایب هیدرودینامیکی (T,S)، آبخوان دشت تهران در اثر افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین،

publication/240489322_Analysis_of_long-term_land_subsidence_near_Mexico_City_Field_investigations_and_predictive_modeling

9. Bankher, K.A.; Al-Harthi, A.A. (1999). Earth fissuring and land subsidence in Western Saudi Arabia. Nat. Hazards 1999, 20, 21–42. https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1008167913575.pdf

10.Gabrysch, R.K.; Neighbors R.J. (1995). Land-surface subsidence and its control in the Houston-Galveston region, TX, 1906–1995. In Proceedings of the 6th International Symposium Land Subsidence, Ravenna, Italy, 2 September 2000; pp. 81–92. http://www.twdb.texas.gov/publications/reports/numbered_reports/doc/R188.pdf

11.Abidin, H. Z., Djaja, R., Darmawan, D., Hadi, S., Akbar, A., Rajiyowiryono, H., Sudibyo, Y., Meilano, I., Kusuma, M. A., Kahar, J., and Subarya, C (2001). Land Subsidence of Jakarta (Indonesia) and its Geodetic-Based Monitoring System, Natural Hazards, J. Int. Soc. Prevent. Mitig. Nat. Hazards, 23, 365–387, March, 2001. https://link.springer.com/article/10.1023/A:1011144602064.

12.Teatini, P., Ferronato, M., Gambolati, G., Bertoni, W., Gonella, M. (2005). A century of land subsidence in Ravenna, Italy. Environ Geol 47:831–846. https://link.springer.com/article/10.1007/s00254-004-1215-9

13.Bergado, D.T.; Nutalaya, P.; Balasubramaniam, A.S.; Apaipong, W.; Chang, C.C.; Khaw, L.G. Causes, (1987). Effects and predictions of land subsidence in AIT campus Chao Phraya Plain, Bangkok, Thailand. Bull Assoc. Eng. Geol. 1987, 25, 57–81. https://www.researchgate.net/publication/285894537_Causes_Effects_and_Predictions_of_Land_Subsidence_in_AIT_Campus_Chao_Phraya_Plain_Bangkok_Thailand

14.Phien-wej, N., Giao, P. H. and Nutalaya, P. (2006). Land subsidence in Bangkok, Thailand. Eng. Geol 82:187-201. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795205002693

15.Hu, J.C.; Chu, H.T.; Hou, C.S.; Lai, T.H.; Chen, R.F.; Nien, P.F.(2006). The contribution to tectonic subsidence by groundwater abstraction in the Pingtung area, southwestern Taiwan as determined by GPS measurements. Quat. Int. 2006, 147, 62–69. geodesy.gl.ntu.edu.tw/Hu_QI_2006_subsidence.pdf

16. Xu, Y.S., Shen, S.L., Cai, Z.Y., Zhou, G.Y. (2008). The state of land subsidence and prediction approaches due to groundwater withdrawal in China. Nat Hazards 45:123-135. https://www.researchgate.net/.../226551230_The_state_of_land_subsidence_and_predict...

17. Tomás, R.; Romero, R.; Mulas, J.; Marturia, J.J.; Mallorqui, J.J.; Lopez-Sanchez, J.M.; Herrera, G.; Gutierrez, F.; Gonzalez, P. J.; Fernandez, J.; et al.(2014). Radar interferometry tchniques for the study of ground subsidence phenomena: A review of practical issues through cases in Spain. Environ. Earth Sci. 2014, 71, 163–181. http://digital.csic.es/bitstream/10261/82968/1/Castaneda_Environmental_Earth_Sciences_2013.pdf

18.Kappel, W.M., Yager, R.M., Todd, M.S. (1999). The Retsof Salt Mine Collapse. In: Galloway, D.L., Jones, D. R., Ingebritsen,

پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) - پژوهشکده مهندسی آب.
https://ganj-beta.irandoc.ac.ir/#/articles/011a8418171c96bf794f9a8132e20247

۳۰. محمدپور، مسعود (۱۳۹۶). نقش اندرکنش ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و برداشت آب‌های زیرزمینی در سازوکار و الگوی فرونشست زمین در گستره جنوب باختری تهران، پایان نامه دکترا، دانشگاه تربیت مدرس- دانشکده علوم پایه.
https://ganj-beta.irandoc.ac.ir/#/articles/9a47ada661f3e01810a2415b2d585d47

۳۱. شمشکی، امیرو بلورچی محمدجوادو انتظام سلطانی، ایمان(۱۳۸۴). فرونشست زمین در دشت تهران و عوامل موثر در شکل گیری آن، سمپوزیوم علوم زمین۱۳۸۴،تهران دوره ۲۴.
https://www.civilica.com/Paper-GSI24-GSI24_071.html

۳۲. شایان، سیاوش، مال امیری، نعمت، شریفی‌کیا، محمد(۱۳۹۱). سنجش آسیب پذیری سکونت گاه‌ها و تاسیسات از مخاطره مورفولوژیکی فرونشست در بخشی از جنوب شهر تهران، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، بهار ۱۳۹۲ شماره۵.
https://geoeh.um.ac.ir/index.php/geo/article/view/21020

۳۳. آتشی، بهاره (۱۳۹۶). مطالعه شواهد و تأثیرات مورفولوژیکی مخاطره فرونشست بر تأسیسات و ساختمان‌های مسکونی (مطالعه موردی: منطقه ۱۹ تهران)، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد.
https://ganj-beta.irandoc.ac.ir/#/articles/eb437727f167fc8f1dfd60001d1cfb2a

۳۴. توانا، حسین (۱۳۹۴). برنامه ریزی مدیریت بحران سوانح طبیعی (زلزله و فرونشست)استان تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، دانشکده هنر و معماری.
https://ganj-beta.irandoc.ac.ir/#/articles/67636bf00b223b30da3be67eb41718e1

۳۵. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور(۱۳۹۴). بررسی فرونشست زمین در دشت تهران- شهریار.
http://gsi.ir/fa/ReportsData/MoreInfo/All/440/34.html

۳۶. کرم، امیر؛ قهرودی، منیژه؛ شمشکی، امیر و پیشرو، معصومه (۱۳۹۰). ارزیابی و مدل‌سازی فرونشست زمین در جنوب غرب کلان شهر تهران، اولین همایش ملی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی کلان شهر تهران، تهران، دانشکده علوم جغرافیایی،
https://www.civilica.com/Paper- MSEH01-MSEH01_077.html

۳۷. بخشایش، محمد کشاورز؛ بهنام نجفی و مهدی تلخابلو(۱۳۹۳). ارزیابی خطر فرونشست زمین در محدوده مرکزی شهر تهران، هشتمین همایش ملی تخصصی زمین شناسی دانشگاه پیام نور، اراک، دانشگاه پیام نور اراک،
https://www.civilica.com/Paper-PNUGEO08-PNUGEO08_136.html