



ارزیابی خطر فرونشست زمین با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی

در پهنه استان‌های تهران و البرز

مریم منتظریون^۱ و فرشته اصلانی^۲

۱. کارشناس ارشد معماری گرایش بازسازی پس از سانحه، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)

Maryam.Montazeriun@gmail.com

۲. دانشجوی دکترای عمران گرایش مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران. fereshteh.aslani@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: با رشد و توسعه جوامع، مدیریت و برنامه‌ریزی سکونتگاه‌ها جهت کاهش تبعات پس از سوانح طبیعی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. استان‌های تهران و البرز با توجه به موقعیت خاص طبیعی، منطقه‌ای، تراکم بالای جمعیتی، بافت متراکم کالبدی و شریان‌های حیاتی دارای پتانسیل بالقوه‌ای در رخداد مخاطرات و ایجاد شرایط بحرانی می‌باشد. پژوهش‌ها نشان داده است که پدیده مورفولوژیکی فرونشست در این دو استان با سرعت متفاوت در حال وقوع و گسترش می‌باشد.

روش: روش پژوهش مقاله حاضر توصیفی-تحلیلی است. داده‌ها از طریق مطالعه اسناد، کتب و مقالات گردآوری شده و سه نقشه اصلی مخاطره، آسیب‌پذیری و ریسک، پس از استنتاج مؤلفه‌های اصلی و وزن‌دهی شاخص‌های فرونشست با بکارگیری AHP، در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS ایجاد و تحلیل می‌شوند.

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد آنچه باعث ایجاد خطر و مطرح شدن فرونشست به عنوان مخاطره و تهدید می‌گردد، عدم کنترل و مدیریت مناسب منابع و ذخایر آب‌های زیرزمینی در سطح استان است؛ همچنین عدم پایش مستمر منابع آب در منطقه و توسعه نامطلوب شهری در حریم فرونشست می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به منابع انسانی، اقتصادی، زیرساختی و زیست‌محیطی وارد کند.

نتیجه‌گیری: این مقاله نتیجه می‌گیرد که سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در استان باید متکی بر نقشه‌های خطر و متناسب با تهدیدات و خسارات ناشی از نشست‌های زمین در مناطق مستعد فرونشست باشد. مناطق وسیعی در استان تهران از جمله غرب و جنوب غربی و همچنین دشت ورامین، شهریار، کرج، نظرآباد و ساوجبلاغ در استان البرز از جمله مناطق مستعد وقوع فرونشست هستند. این امر بیانگر آن است که ایجاد و توسعه کانون‌های زیستی و جمعیتی و به‌طور کلی هرگونه فعالیت عمرانی در این مناطق، مستلزم حساسیت ویژه و نیازمند ارزیابی، نظارت، کنترل و پایش مستمر عوامل مؤثر در احتمال وقوع و تشدید پدیده فرونشست در منطقه می‌باشد.

واژگان کلیدی: خطرپذیری، فرونشست، سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، استان‌های تهران و البرز

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** منتظریون، مریم؛ اصلانی، فرشته (بهار، ۱۳۹۸). ارزیابی خطر فرونشست زمین با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی در پهنه استان‌های تهران و البرز. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۹ (۱)، ۳۵-۴۷.

Evaluation of land subsidence using GIS technique (Case study: Tehran and Alborz provinces)

Maryam Montazeriun¹ & Fereshteh Aslani²

1. Master of Architecture, major of post-disaster reconstruction, Faculty of Architecture, SBU, Tehran, Iran (corresponding author).

2. PhD candidate in Civil Engineering, major of Earthquake Engineering, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran.

Abstract

Background and objectives: The management and habitation planning have been increasingly considered to reduce the consequences of natural disasters due to the societies' growth and development. Tehran and Alborz provinces have hazard potential and critical conditions because of their specific natural and regional situation, high population density, congested texture and vital routs. Studies show that morphological phenomenon of subsidence in these two provinces is happening rapidly.

Method: This study was done in a descriptive-analytic method. The data were collected through the study of documents, books and articles and three main maps of land subsidence hazard, vulnerability and risk will analyze following the inference of main factors and using AHP to subsidence indicators in GIS software.

Finding: The results of this survey indicate that lack of proper control and management of underground water resources will cause the risk of the land subsidence as a hazard in these provinces; as well as the lack of continuous monitoring of underground water resources in these regions and the undesirable urban development in the bounds of subsidence may cause irreparable damages to human, economics, infrastructures and the environmental resources in these provinces.

Conclusion: This paper concludes that policymaking and planning in these provinces should be based on hazard maps and appropriate to the hazards and damages due to land subsidence in areas susceptible to land subsidence. Vast areas in Tehran province such as the west and southwest regions, as well as Varamin plain, Shahriar, Karadj, Nazarabad and Savojbolagh in the Alborz province are among the susceptible to land subsidence; this indicates that founding and development of biological and demographic centers and, in general, any civil activities in these areas demanding special sensitivity and require the evaluation, monitoring, control and continuous protecting the influential factors in the likelihood occurrence and intensification of the land subsidence phenomenon in the region.

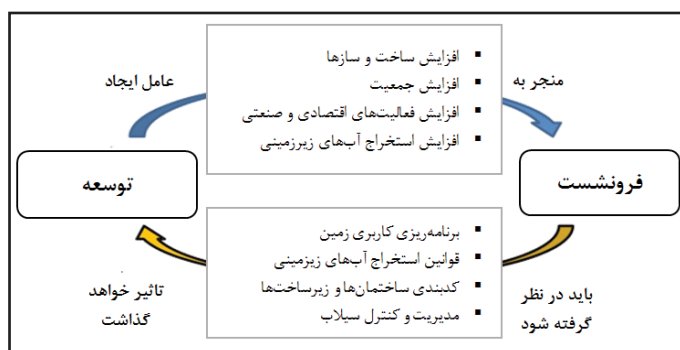
Keywords: risk, subsidence, GIS (Geographic Information System), Tehran and Alborz provinces

► **Citation (APA 6th ed.):** Montazeriun M, Aslani F. (2019, Spring). Evaluation of land subsidence using GIS technique (Case study: Tehran and Alborz provinces). *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 9(1), 35-47.

مقدمه

وقوع فرونشست زمین سالانه هزاران میلیارد ریال خسارت به سکونت‌گاه‌های انسانی وارد می‌گردد که این موضوع بیانگر لزوم پژوهش در این حوزه است.

پژوهشگران رابطه بین توسعه شهری و فرونشست زمین را رابطه‌ای دوجانبه می‌دانند که هر دو بر هم تأثیر گذاشته و تأثیر می‌پذیرند؛ به گفته آن‌ها کلان‌شهرها، به جهت رشد سریع در توسعه شهری در بخش‌های مختلف صنعت، تجارت و حمل‌ونقل اثرات زیست‌محیطی منفی از خود برجای می‌گذارند، مانند تغییر در کاربری اراضی کشاورزی به مسکونی، مصرف بی‌رویه منابع آب‌های زیرزمینی جهت گسترش فعالیت‌های صنعتی و افزایش جمعیت. این اثرات منفی در نهایت منجر به بروز پدیده فرونشست می‌شود و همین پدیده می‌تواند برنامه و فرآیند توسعه شهر را متأثر سازد (پارک و همکاران، ۲۰۱۲) (آبیدین و همکاران، ۲۰۱۵).^۷ همچنین آبیدین (۲۰۱۵)، با ارائه یک مدل (تصویر شماره ۱) در زمینه عوامل ایجاد و پیامدهای فرونشست زمین در مناطق سکونتگاهی نشان می‌دهد فرونشست زمین و توسعه سکونتگاه هر دو بر یکدیگر تأثیر مستقیم دارند و می‌توانند سبب تشدید تبعات و ایجاد کنش‌های متقابل بر یکدیگر شوند.



تصویر ۱: مدل اثربخشی فرونشست و توسعه شهری بر یکدیگر (آبیدین، ۲۰۱۵)

بر اساس آمار اعلام‌شده در کشور ایران، اثرات سوء ناشی از رخداد فرونشست رقم پایی نیست و به سرعت در حال ایجاد و گسترش در دشت‌های مختلف سراسر کشور می‌باشد که عدم مدیریت و کنترل به‌موقع عوامل آن می‌تواند خسارات جانی و مالی جبران‌ناپذیری برجای بگذارد. در میان شهرها، بررسی

پیشینه وقوع سوانح طبیعی به قدمت تاریخ بشر است. سوانح و مخاطرات طبیعی همواره زیستگاه‌های بشری را با چالش روبه‌رو کرده است. قابل‌ذکر است که تمامی جوامع در مقابل سوانح طبیعی آسیب‌پذیر هستند، فقط میزان تأثیرپذیری آن‌ها از مکانی به مکان دیگر متفاوت است (دریغک، ۱۳۹۲). در کشور ایران پس از زلزله، سیلاب و خشکسالی، پدیده فرونشست را می‌توان یکی از مهم‌ترین و شایع‌ترین مخاطرات به شمار آورد.

فرونشست زمین، نشست تدریجی یا ناگهانی قسمت‌هایی از سطح زمین به‌واسطه نیروی ثقل می‌باشد که در اثر انحلال، حفاری، جابه‌جایی مصالح و یا استخراج سیالات زیرسطحی ایجاد می‌گردد (امینی حسینی و جعفری، ۱۳۸۹). فرونشست^۱ و فروریزش^۲ زمین پدیده‌های هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی پیچیده و حائز اهمیتی هستند که به کاهش سفره‌های آبی زیرزمینی در اثر استفاده بیش‌ازحد از آبخوان‌ها^۳، انباشت شن و ماسه در چاه‌های آب (که به نحوی با استخراج بیش‌ازحد آن مرتبط است)، فعالیت‌های معدنی، راهروهای زیرزمینی و تونل‌ها (قنات‌ها)، پدیده کارست^۴ عمیق، ترکیدن لوله‌های آب در مناطق شهری و در برخی موارد آب‌های زیرزمینی و مکانیسم‌های آن‌ها مرتبط است (خرسندی آقایی، ۲۰۱۵).^۵

افزون بر این، تراکم خاک‌های آلی دلیل اصلی فرونشست است (انگورانی و همکاران، ۱۳۹۳). دیگر فعالیت‌های انسانی مانند حفر چاه‌های غیرمجاز، ساخت‌وسازهای بی‌رویه، توسعه سکونتگاه‌ها بدون برنامه‌ریزی و سنجش ظرفیت زمین‌شناسی منطقه و افزایش مستحذات زیرزمینی، تخلیه درازمدت آب، نفت و گاز از منابع زیرزمینی، تغییر کاربری زمین، احداث، بهره‌برداری و یا بارگذاری سازه‌های مهندسی، زهکشی خاک‌های آلی و پمپاژ نفت از جمله دلایل وقوع فرونشست محسوب می‌شود (عالی‌پور اردی و همکاران، ۱۳۹۳) (پوترا و همکاران، ۲۰۱۱).^۶ به‌واسطه

1. Subsidence

2. Collapse

3. Aquifer compaction

۴. کارست (Karst) پدیده خوردگی و انحلال توده‌سنگ‌های کربناته از قبیل آهک، سنگ گچ و دولومیت است.

5. Khorsadi, 2015

6. Park, 2012 & Putra, 2011

7. Abidin, Andreas, Gumilar and Brinkman, 2015

وقوع و آسیب‌پذیری ایجاد شدند. به بیان دیگر، ضرب کردن وزن لایه‌ها در شاخص‌های استاندارد شده و جمع کردن لایه‌های موزون، منجر به تولید نقشه‌های نهایی شدند.

در فرآیند پژوهش، بخش شناخت به دو قسمت شناخت مخاطره و شناخت محدوده مورد مطالعه تقسیم شده است. پس از آن دیاگرام ساختار داده‌ها DSD^۴ در دو بخش «احتمال و شدت وقوع» و همچنین «علل زمینه‌ای آسیب‌پذیری» تدوین شده است. در نهایت، دو نقشه احتمال وقوع و آسیب‌پذیری، با هم ترکیب شده و نقشه «پهنه‌بندی خطرپذیری فرونشست زمین» را ایجاد نمودند. در انتها، سه نقشه «احتمال وقوع»، «آسیب‌پذیری» و «خطرپذیری» فرونشست بررسی و تحلیل شدند. تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست می‌تواند ابزاری کارآمد جهت برنامه‌ریزی مناسب کاهش خطرپذیری سکونتگاه‌های انسانی و توسعه زیرساخت‌های شهری در مقابل مخاطرات آتی باشد.

پیشینه

فرونشست یک معضل جهانی است؛ در مقیاس جهانی، خطر فرونشست زمین بر اثر افت سطح آب در بین سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۵۰ که هم‌زمان با صنعتی شدن و رشد شهرنشینی است به اوج خود رسید (والتام، ۱۹۸۹)^۵. مطالعات انجام شده در کشورهای جهان نشان داده است که فرونشست زمین ناشی از جابجایی شن و ماسه‌های ریز در اثر جریان آب‌های زیرزمینی می‌باشد (لوپیس و شریف‌ر، ۱۹۷۸)^۶. همچنین در کشورهای آمریکا، ژاپن، ایتالیا، تایلند، مکزیک و اندونزی نیز رخداد این پدیده گزارش شده است. بررسی‌ها و مطالعات انجام شده در شهرهای مختلف ایران توسط متخصصین زمین‌شناسی این واقعیت را نشان داده که این مخاطره در ایران با نرخ رشد بالایی در حال گسترش است.

از جمله پژوهش‌های انجام شده در زمینه ریسک فرونشست می‌توان به مقالاتی در همین حوزه که توسط پژوهشگران داخلی تدوین شده است، اشاره نمود. این مقالات که تحت عناوین «بررسی و ارزیابی میزان فرونشست زمین» می‌باشند، در برخی شهرها انجام شده‌اند که عبارت‌اند از: در شهرهای تهران (شمشکی و سلطانی، ۱۳۸۴)، مشهد

وقوع فرونشست در منطقه تهران و البرز، یکی به عنوان پایتخت و دیگری از کلان‌شهرهای ایران، از ضروریات است. با توجه به شرایط سفره‌های آب زیرزمینی در این استان‌ها، وضعیت رو به رشد خشکسالی در منطقه و تراکم بالای زیرساخت‌ها و کاربری‌های استان تهران، برنامه‌ریزی جهت کاهش آسیب‌پذیری ناشی از فرونشست بیش از پیش اهمیت دارد.

روش

یکی از روش‌های ارزیابی خطر مکانی، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تولید نقشه توسط آن و در نهایت تحلیل کاربری‌های اراضی و ارائه راهبردها و سیاست‌های مربوطه می‌باشد (کلادیا، ۲۰۰۷)^۱. روش پژوهش حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی است. قابل ذکر است که یک مدل کاربردی جهت تصمیم‌گیری برنامه‌ریزان در روند برنامه‌ریزی یک منطقه، باید قابلیت تدوین اهداف، چارچوب و جایگاهی برای تحلیل داشته باشد. بنابراین، در این پژوهش برای ارزیابی خطر فرونشست زمین مدلی به کار رفته است که سه عامل اصلی: «احتمال وقوع»، «آسیب‌پذیری» و میزان «ریسک» ایجاد شده را بررسی می‌کند. سازمان DHS^۲ تعدادی از روش‌های ارزیابی خطرپذیری را به منظور ارزیابی آن بررسی کرده است که در جدیدترین و معتبرترین آن‌ها، رابطه ارزیابی خطرپذیری به شکل زیر ارائه شده است که در مقاله حاضر برای ایجاد و تحلیل نقشه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$\text{خطرپذیری} = \text{احتمال وقوع} * \text{آسیب‌پذیری}$$

بر این اساس، ابتدا شاخص‌های «احتمال وقوع» و «آسیب‌پذیری» فرونشست بر اساس مرور متون تخصصی و مطالعه اسناد، کتب، مقالات و رسالات استخراج شدند. سپس وزن‌دهی شاخص‌ها با بکارگیری «فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی» AHP^۳ انجام شد. بدین منظور، ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌های «احتمال وقوع» و «آسیب‌پذیری» به صورت جداگانه تنظیم و اولویت‌بندی شاخص‌ها با کمک تعدادی از متخصصین انجام شد. سپس لایه‌های اطلاعاتی و نقشه‌های مورد نیاز در نرم‌افزار GIS تهیه شده و پس از اعمال وزن‌ها و روی هم انداختن لایه‌ها، نقشه‌های احتمال

4. DSD (Data Structure Diagram)
5. Waltham, 1989
6. Lewis and Schrefler, 1978

1. Claudia, 2007
2. Department of Homeland Security
3. AHP (Analytic Hierarchy Process)

- آسیب‌رساندن به زمین‌های کشاورزی و سیستم‌های آبیاری و از بین رفتن دشت‌ها؛
- آسیب‌رساندن به ایستگاه‌های پمپاژ آب‌های سطحی و یا چاه‌های زیرزمینی؛
- آسیب‌رساندن به کارخانه‌ها، نیروگاه‌های برق و مسیرهای دسترسی؛
- آسیب‌رساندن به مناطق شهری و جمعیت ساکن در آن؛
- آسیب‌رساندن به سیستم حمل‌ونقل نظیر: جاده‌ها، خطوط راه‌آهن، فرودگاه‌ها و...؛
- آسیب‌رساندن به شریان‌ها و تسهیلات حیاتی مهم مانند خطوط برق، نفت، مخابرات، آب و...؛
- آسیب‌رساندن به محیط‌زیست نظیر: زمین‌های کشاورزی، پارک‌های ملی، گونه‌های گیاهی و جانوری نایاب و...؛
- آسیب‌رساندن به تأسیسات مهم نظیر پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، بنادر و...؛
- فروریختن جداره‌های چاه‌ها و قنوات و گل‌آلود شدن آب؛
- ایجاد لرزش‌های کوچک در اثر ناپایداری زمین؛

این پدیده در طول زمان سبب ایجاد شکاف‌های طولی ممتد، منقطع، حفرات مدور، چاله‌ها و فروچاله‌های وسیعی می‌شود که این عوارض باعث تخریب اراضی کشاورزی، کانال‌های آبیاری، تهدید شبکه‌های انتقال نیرو و سایر تأسیسات عمرانی می‌شود. در جدول ۱، ویژگی‌های اثرات فرونشست زمین نشان داده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های اثرات فرونشست زمین (آبیدین، ۲۰۱۵)

ردیف	دسته‌بندی	شکل اثرگذاری	شیوه اثرگذاری
۱	زیربنایی	شکاف در ساختمان‌ها و معابر، کج شدن ساختمان‌ها، شکستن خطوط لوله زیرزمینی از کارافتادن سیستم فاضلاب و زهکش‌ها، تضعیف عملکرد ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها	مستقیم غیرمستقیم
۲	محیطی	تغییر در کانال رودخانه و سیستم‌های تخلیه جریان، سیلاب‌های ساحلی مکرر، گسترش وسیع مناطق سیل‌گیر، آب‌گرفتگی مناطق و زیرساخت‌ها، افزایش نفوذ آب دریا به داخل، تنزل کیفیت شرایط محیطی	غیرمستقیم
۳	اقتصادی	افزایش هزینه نگهداری زیرساخت‌ها، کاهش ارزش زمین و اموال، ساختمان‌ها و امکانات رها شده، اختلال در فعالیت‌های اقتصادی	غیرمستقیم
۴	اجتماعی	تنزل در کیفیت محیط زندگی (بهداشت و شرایط بهداشتی)، اختلال در فعالیت‌های روزمره مردم	غیرمستقیم

(متعهد و همکاران، ۱۳۹۳)، کرمان (واعظی‌نژاد، ۲۰۱۱)^۱ نیشابور (رکنی و همکاران، ۱۳۹۴)، دامغان (افضلی و همکاران، ۱۳۹۲)، همدان (خرسندی آقایی، ۲۰۱۵)، مرودشت (عفیفی، ۱۳۹۵)، اردبیل (عالی پور و همکاران، ۱۳۹۳) و شهریار (صفاری، ۱۳۹۵). به‌طور نمونه در دشت کیودرآهنگ همدان طی دوره ۲۸ ساله، معادل ۴۱.۸۹ متر و افت متوسط سالانه، معادل ۱.۵۰ متر نشست رخ داده است. از ۶۰۹ دشت کشور، تا سال ۱۳۹۴ تعداد ۳۰۹ دشت از نظر توسعه برداشت آب زیرزمینی ممنوعه اعلام شده است؛ ۳۰۰ دشت دیگر کشور نیز فاقد منابع آب زیرزمینی شیرین قابل توجه و یا دارای آب‌های شور و فاقد کیفیت مناسب است. در چنین شرایطی با کاهش بارش‌ها، افزایش تبخیر از سطح، برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، مهار آب‌های جاری و مصرف غیراصولی آب، بروز بحران آب در دشت‌ها و تالاب‌های کشور، پدیده فرونشست امری اجتناب‌ناپذیر است.

مبانی نظری

فرونشست زمین طبق تعریف انستیتو زمین‌شناسی ایالت متحده (۱۹۹۹)^۲ شامل پایین رفتن یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابجایی افقی اندک باشد (یمانی و همکاران، ۱۳۸۸). فرونشست پدیده‌ای مورفولوژیک است و ظهور طیف وسیعی از عوارض ناشی از آن همانند ایجاد درز و ترک در سازه‌ها، تغییر در شکل و هندسه سطحی زمین ازجمله عمومی‌ترین رخنمون‌های قابل‌رؤیت ناشی از آن است. پدیده‌های مورفولوژیک ناشی از رخداد فرونشست به سبب فراگیری فضایی و همچنین رخداد کند و بطئی آن در عین خسارت‌بار بودن، وجوه خارجی چندان مشخصی نداشته و به سهولت قابلیت شناسایی نیست (شریفی کیا و همکاران، ۱۳۹۴). فرونشست ازجمله مهم‌ترین مخاطرات زمین‌شناسی است که پیامدهای فراوانی به‌همراه دارد و به علت تلفات کم انسانی در مقایسه با سایر سوانح طبیعی کمتر موردتوجه قرارگرفته است. این تغییر در توپوگرافی سطحی زمین بیشتر مواقع برگشت‌ناپذیر است. وقوع این پدیده در دشت‌ها، مناطق شهری و سایر مناطق، سبب تلفات و خسارات مادی به اشکال زیر می‌شود (خرسندی آقایی، ۲۰۱۵):

1. Vaezinejad, 2011

2. USGS, United States Geological Survey

بحث

تمرکز جمعیت و زیرساخت‌های حیاتی در کلان‌شهرهای تهران و کرج باعث شده است که وضعیت ایمنی آن‌ها از نظر مخاطره و بحران‌های طبیعی اهمیت ویژه‌ای در سطح ملی داشته باشد؛ بنابراین ضروری است مسئله خطرپذیری استان تهران و البرز در برابر مخاطرات طبیعی به‌طور جدی ارزیابی و بررسی شود. فرونشست دشت تهران در ابتدا توسط اندازه‌گیری‌های سازمان نقشه‌برداری کشور در سال ۱۳۷۰ مورد توجه قرار گرفت. از سال ۱۳۸۴ مسئولیت بررسی این پدیده در دشت تهران به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور سپرده شد.

با توجه به خسارات ناشی از فرونشست به ساختمان‌ها، تأسیسات زیربنایی و زمین‌های کشاورزی، شناخت این پدیده و عوامل مؤثر در ایجاد آن دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. استقرار کانون‌های جمعیتی، ابنیه و برخی از زیرساخت‌های مهم در حریم‌های فرونشست زمین در استان‌های مذکور، اهمیت این محدوده را در جهت کاهش آسیب‌پذیری دوچندان نموده است. برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری و آمادگی در برابر فرونشست و فروریزش زمین در اولویت اقدامات کاهش خطر سوانح قرار دارد؛ زیرا با گذشت زمان می‌تواند تشدیدکننده سوانح زلزله و سیل باشد.

در این بخش، با توجه به مبانی نظری و مطالعات انجام شده پیرامون مخاطره فرونشست و شناخت از منطقه (استان تهران)، عوامل مؤثر در «احتمال و شدت وقوع مخاطره» و «علل زمینه‌ای آسیب‌پذیری» به ترتیب در جداول ۳ و ۴ لیست شده‌اند. سپس با توجه به جدول DSD، نقشه‌های مورد نیاز فهرست می‌شوند. در جدول شماره ۳، به‌منظور پهنه‌بندی ریسک فرونشست زمین در استان تهران از دو دسته عوامل طبیعی و انسان‌ساخت استفاده شده است.

سه عامل طبیعی که شامل فاصله از گسل، میزان شیب منطقه و زمین‌شناسی (جنس خاک، دانه‌بندی خاک و لایه آبرفتی) است و سه عامل انسان‌ساخت که شامل میزان برداشت آب‌های زیرزمینی (چاه‌ها و قنوات)، کاربری اراضی (زمین‌های کشاورزی و ابنیه بزرگ و صنعتی) و ساخت مستحذات زیرزمینی است در تشدید و احتمال وقوع پدیده فرونشست اثرگذار می‌باشد. ابتدا داده‌های اولیه وارد نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی شده و به‌صورت

یکی از مهم‌ترین راهکارهای کنترل فرونشست در مناطق بر اساس تجارب جهانی، روش‌های غیرسازه‌ای کاهش‌دهنده و تطبیق‌دهنده می‌باشد. (آبیدین، ۲۰۱۵). راهکارهای بلندمدت به‌صورت اصلاح روش‌های مدیریت منابع آب و راهکارهای کوتاه‌مدت، جلوگیری از برداشت سفره‌های آب زیرزمینی به اشکال مختلف و پایش مستمر مناطق مستعد این پدیده می‌باشد. رویارویی با خطر فرونشست بر سه اصل پیش‌بینی، تشخیص و پایش استوار است که مدیریت درست منابع آب، نقش کلیدی در جلوگیری از رخداد این پدیده دارد. فرآیند پیش‌بینی و تشخیص بر پایه داده‌های حاصل از پیمایش چاه‌ها، آزمون‌های ژئوفیزیکی و داده‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی برای پیش‌بینی و اندازه‌گیری میزان نشست خاک و تخلخل مفید و پتانسیل تراکم‌پذیری آن می‌باشد. از سوی دیگر پایش، مکان‌یابی و اندازه‌گیری میزان فرونشست می‌تواند با روش‌های نوین نقشه‌برداری و سنجش از دور انجام پذیرد (آمیغ پی و عربی، ۱۳۸۸). جدول ۲، بیانگر مهم‌ترین اقدامات کاهش‌دهنده و تطبیق‌دهنده خطر فرونشست در سکونت‌گاه‌های انسانی می‌باشد.

جدول ۲. اقدامات کاهش‌دهنده و تطبیق‌دهنده خطر فرونشست در مناطق شهری (آبیدین و همکاران، ۲۰۱۵)

عوامل تأثیرگذار	اقدامات کاهش‌دهنده	اقدامات تطبیق‌دهنده
برداشت بی‌رویه منابع آب‌های زیرزمینی	-محدود یا ممنوعیت استخراج آب‌های زیرزمینی در معرض فرونشست -اجرای مقررات سخت‌گیرانه و مجازات استخراج‌کنندگان منابع آب‌های زیرزمینی در مناطق در معرض فرونشست	-افزایش منابع و ذخایر آب‌های زیرزمینی -پایش پیوسته شاخص‌های فرونشست
بار ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها	-برنامه‌ریزی توسعه شهری با احتساب شاخص‌های فرونشست زمین در مناطق -کنترل صحیح نرخ توسعه شهر در نواحی در معرض فرونشست	-اجرای کدهای ویژه ساختمانی برای مناطق مستعد فرونشست -پایش پیوسته شاخص‌های فرونشست
تثبیت طبیعی خاک‌های آبرفتی		-اجرای توسعه شهرنشینی منطبق با فرونشست و برنامه‌ریزی فضایی
فعالیت‌های زمین‌شناسی		-پایش پیوسته شاخص‌های فرونشست

مختصات یکسان تبدیل گردید. سپس به منظور تهیه نقشه پهنه ریسک فرونشست زمین، تمامی نقشه‌ها رستری شدند. برای این منظور به طور مثال برای نقشه خطوط گسل از تابع تراکم و فاصله در سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد.

جدول ۳. جدول DSD، عوامل مؤثر در احتمال و شدت وقوع خطر فرونشست

عوامل مؤثر	عوامل اصلی	شاخص‌های اصلی	شاخص‌های فرعی	توضیحات
عوامل مؤثر در احتمال و شدت وقوع فرونشست	عوامل طبیعی	گسل‌ها	تراکم و فاصله از گسل‌ها ^۱	هرچه فاصله از گسل‌ها کمتر و تراکم بیشتر شود، میزان احتمال فرونشست بیشتر می‌شود.
		شیب زمین ^۲	درجه شیب	هرچه از شیب منطقه کاسته شود و به دشت نزدیک شود، احتمال وقوع فرونشست بیشتر می‌شود.
		زمین‌شناسی	جنس خاک ^۳ دانه‌بندی خاک	وجود خاک‌های رسی و ضخامت بالای آن در منطقه، سبب افزایش احتمال وقوع فرونشست می‌شود. با کاهش ابعاد دانه‌های خاک، احتمال وقوع فرونشست افزایش می‌یابد.
			لایه‌های آبرفتی	فرونشست در رسوبات ریزدانه آبرفتی که دچار افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی ^۴ شده باشند، رخ می‌دهد.
عوامل انسان ساخت	عوامل انسان	برداشت آب‌های زیرزمینی	چاه‌ها ^۵ قنوات	هرچه میزان تراکم چاه‌ها و قنوات بیشتر باشد، احتمال وقوع فرونشست افزایش می‌یابد.
		کاربری اراضی	زمین‌های کشاورزی ^۶	در زمین‌های کشاورزی با مصرف بالای منابع آب زیرزمینی جهت آبیاری، احتمال وقوع فرونشست افزایش می‌یابد.
			ابنیه بزرگ و صنعتی	بار وارده بر زمین در اثر احداث ساختمان‌های بزرگ می‌تواند سبب تشدید فرونشست زمین گردد.
		مستحذات ^۷ زیرزمینی	تأسیسات زیرزمینی (تونل، مترو و...)	احداث سازه‌های زیرزمینی مانند تونل، مترو، خطوط انتقال نیرو (نفت، گاز و...) و عملیات حفاری و معدن‌کاری در زیرزمین می‌تواند سبب تشدید فرونشست گردد.

جهت ارزیابی ریسک فرونشست در استان تهران، در کنار شناسایی شاخص‌های احتمال وقوع مخاطره، لازم است شاخص‌های آسیب‌پذیری نیز شناسایی شوند زیرا در صورت وقوع فرونشست بسیاری از مناطق در معرض این پدیده با آسیب‌های جدی روبرو می‌شوند. جدول شماره ۴ «علل زمینه‌ای آسیب‌پذیری» را نشان می‌دهد. به‌طور کلی هر نوع ساختاری اعم از انسانی و یا کالبدی که در مسیر شکل‌گیری شکاف یا فروچاله واقع شده باشد، در معرض آسیب قرار دارد.

جدول ۴. شاخص‌های آسیب‌پذیری

عوامل مؤثر	عوامل اصلی	شاخص‌های اصلی	شاخص‌های فرعی	توضیحات
علل زمینه‌ای آسیب‌پذیری	آسیب‌پذیری کالبدی	سکونت‌گاه‌ها	سکونت‌گاه‌های شهری و روستایی	رشد و توسعه سکونت‌گاه‌ها سبب شده مصرف آب‌های زیرزمینی بالا رفته و آسیب‌پذیری افزایش یابد.
		زیرساخت‌ها	خطوط آب، برق، گاز شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای، ریلی و زیرزمینی	هرچه تراکم زیرساخت‌ها بیشتر شود، آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد.
	آسیب‌پذیری انسانی	تلفات انسانی	توسعه مراکز جمعیت و رشد سکونت‌گاه‌ها در مناطق در معرض فرونشست سبب افزایش آسیب‌پذیری می‌شود.	هرچه تراکم جمعیت بیشتر شود، آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد.
		آسیب‌پذیری اقتصادی	فرایند اقتصادی	هرچه تراکم کاربری‌های اقتصادی در مناطق مستعد فرونشست بیشتر شود، آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد.
زیست‌محیطی	آسیب‌پذیری زیست‌محیطی	اراضی کشاورزی	فاصله	هرچه فاصله زمین‌های کشاورزی از منابع آبی کمتر باشد، آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد.

یافته‌ها

پس از اینکه شاخص‌های «احتمال وقوع» و «آسیب‌پذیری» فرونشست در جداول ۳ و ۴ استنتاج شدند، وزن‌دهی شاخص‌ها با بکارگیری «فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی» AHP انجام شد. بدین منظور، ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌های «احتمال وقوع» و «آسیب‌پذیری» به‌صورت جداگانه تنظیم و اولویت‌بندی شاخص‌ها

۱. نقشه مورد نیاز: نقشه تراکم و فاصله از گسل‌ها

۲. نقشه مورد نیاز: نقشه شیب زمین

۳. نقشه مورد نیاز: نقشه رده‌بندی جنس خاک

۴. از مهم‌ترین اثرات افت سطح آب‌های زیرزمینی می‌توان به کاهش آبدی رودخانه‌ها، کاهش رطوبت خاک، نشست زمین، نفوذ آب شور، افزایش هزینه عمیق‌تر نمودن چاه‌ها، افزایش هزینه پمپاژ آب، کاهش آبدی چاه‌ها، خشک شدن چاه‌های کم‌عمق و چشمه‌ها و کاهش کیفیت آب اشاره نمود.

۵. هرچه تعداد چاه‌های پی‌زومتری بیشتر باشد، به دلیل برداشت بیشتر آب، احتمال وقوع فرونشست افزایش می‌یابد.

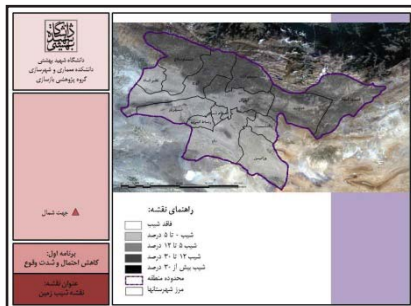
۶. نقشه مورد نیاز: نقشه زمین‌های کشاورزی

تراکم زمین‌های کشاورزی (نقشه ۵) ایجاد شدند. سپس لایه‌های اطلاعاتی و نقشه‌های مورد نیاز در نرم‌افزار GIS تهیه شده و پس از اعمال وزن‌ها و روی هم انداختن لایه‌ها، نقشه‌های احتمال وقوع و آسیب‌پذیری ایجاد شدند. به بیان دیگر، ضرب کردن وزن لایه‌ها در شاخص‌های استاندارد شده و جمع کردن لایه‌های موزون، منجر به تولید نقشه‌های نهایی شدند.

بدین منظور برای تولید و ایجاد نقشه پهنه‌بندی احتمال وقوع فرونشست (نقشه ۶)، با توجه به شاخص‌های استنتاج شده، ابتدا نقشه‌های شیب زمین (نقشه ۱)، وضعیت خاک (نقشه ۲)، رده‌بندی جنس خاک (نقشه ۳)، تراکم و فاصله از گسل‌ها (نقشه ۴) و

با کمک نظرات تعدادی از متخصصین انجام شد. سپس لایه‌های اطلاعاتی و نقشه‌های مورد نیاز در نرم‌افزار GIS تهیه شده و پس از اعمال وزن‌ها و روی هم انداختن لایه‌ها، نقشه‌های احتمال وقوع و آسیب‌پذیری ایجاد شدند. به بیان دیگر، ضرب کردن وزن لایه‌ها در شاخص‌های استاندارد شده و جمع کردن لایه‌های موزون، منجر به تولید نقشه‌های نهایی شدند.

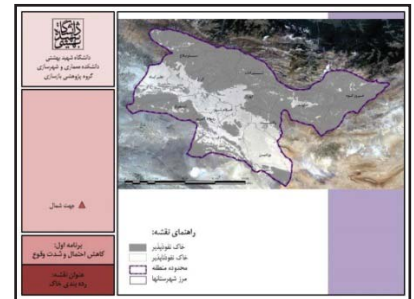
بدین منظور برای تولید و ایجاد نقشه پهنه‌بندی احتمال وقوع فرونشست (نقشه ۶)، با توجه به شاخص‌های استنتاج شده، ابتدا نقشه‌های شیب زمین (نقشه ۱)، وضعیت خاک (نقشه ۲)، رده‌بندی جنس خاک (نقشه ۳)، تراکم و فاصله از گسل‌ها (نقشه ۴) و



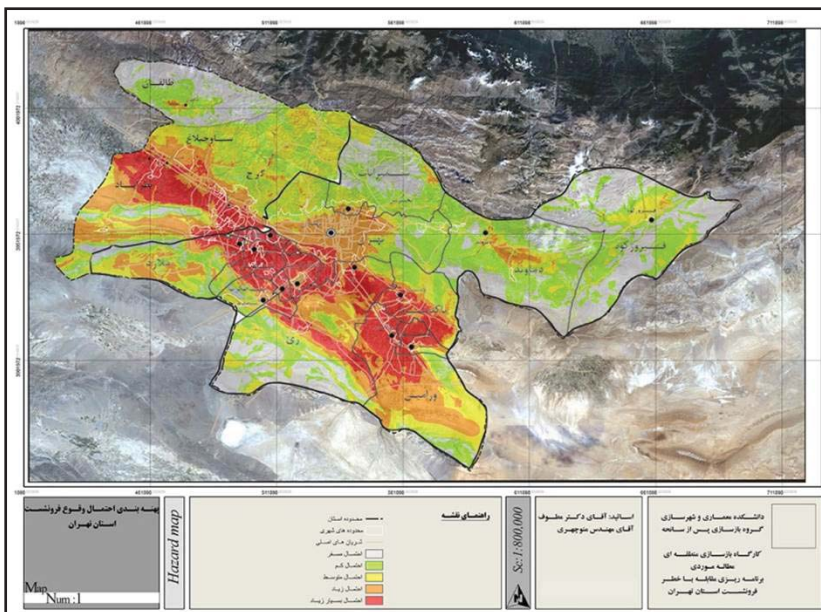
نقشه ۱. نقشه شیب زمین



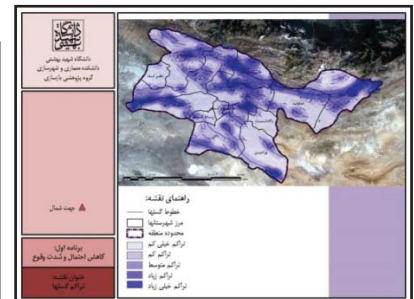
نقشه ۲. نقشه وضعیت خاک



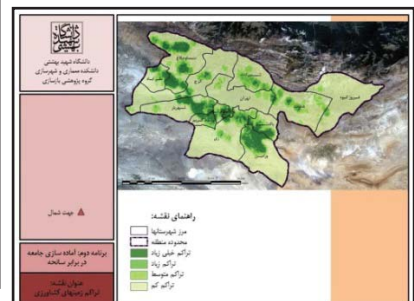
نقشه ۳. رده‌بندی جنس خاک



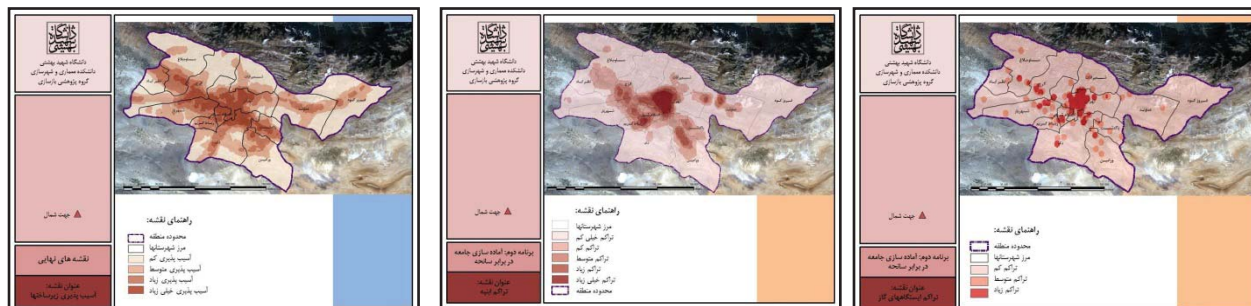
نقشه ۴. تراکم و فاصله از گسل‌ها



نقشه ۵. تراکم زمین‌های کشاورزی



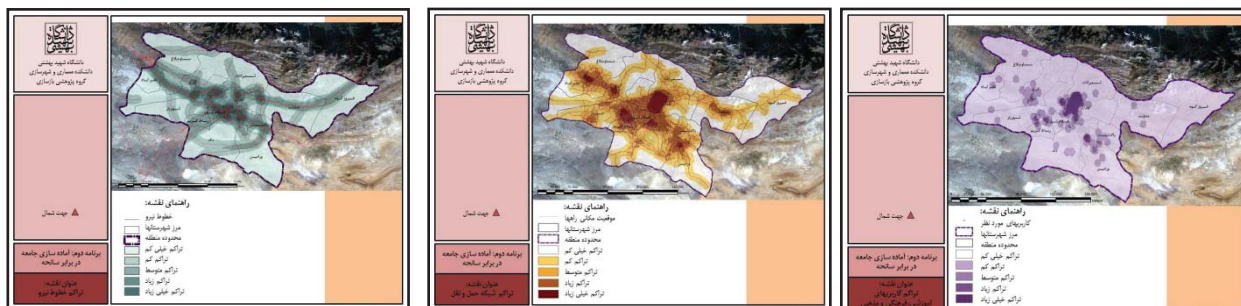
نقشه ۶. پهنه‌بندی احتمال وقوع فرونشست در استان تهران (نگارندگان)



نقشه ۷. آسیب پذیری زیرساخت ها

نقشه ۸. تراکم ابنیه

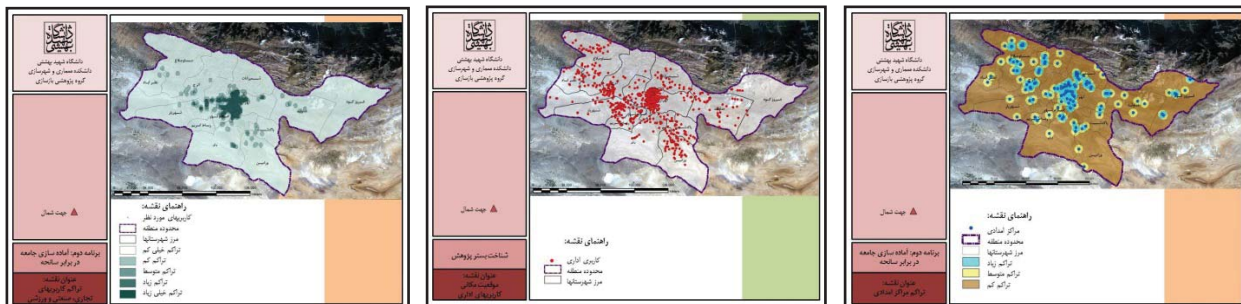
نقشه ۹. تراکم ایستگاه های گاز



نقشه ۱۰. تراکم خطوط نیرو

نقشه ۱۱. تراکم شبکه حمل و نقل

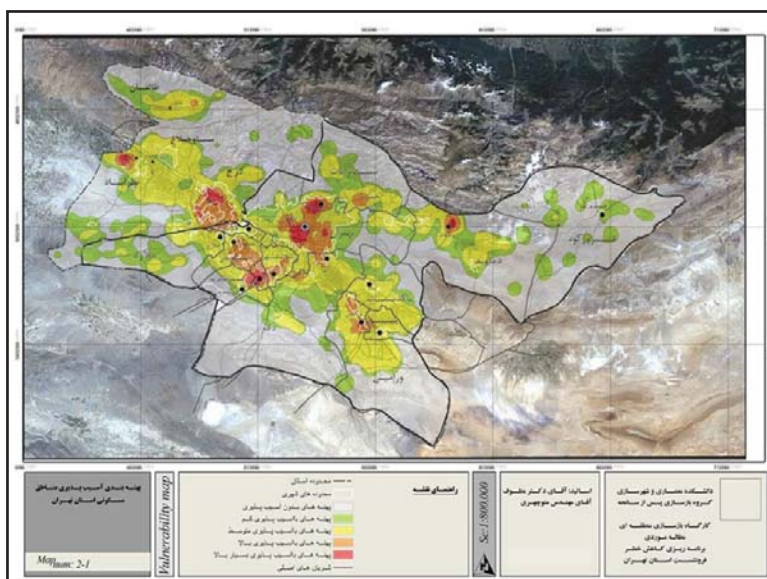
نقشه ۱۲. تراکم کاربری های آموزشی و فرهنگی



نقشه ۱۳. تراکم کاربری های تجاری و صنعتی

نقشه ۱۴. تراکم کاربری های اداری

نقشه ۱۵. تراکم مراکز امدادی



نقشه ۱۶. پهنه بندی آسیب پذیری مناطق مسکونی استان تهران در فرونشست (نگارندگان)

در خاک‌های مسئله‌دار، فرونشست زمین با ترک خوردن خاک‌های سطحی همراه می‌شود که در دشت ورامین قابل مشاهده است. ترک و شکاف‌های به وجود آمده در مزارع کشاورزی، امر آبیاری آن‌ها را با مشکلات عدیده همراه ساخته است. فروریزش‌های ناشی از فرسایش تونلی که هم‌زمان با تأثیر فرونشست ناحیه‌ای زمین در جنوب ورامین رخ می‌دهد، تهدید جدی بر پایداری دکل‌های بزرگ انتقال نیروی برق در این ناحیه است.

آسیب‌پذیری کالبدی در عناصر غیرسازه‌ای مثل نما و دیوارهای جداکننده و متعلقات آن‌ها مانند اندودکاری، گچ کاری، کج‌شدگی و بیرون‌زدگی سطح ساختمان نسبت به سازه‌های مجاور و عناصر سازه‌ای همچون واژگونی پی ساختمان در اثر نشست موضعی یا گسترده غیرهمگن، شکست فونداسیون، گسیختگی در المان‌های مقاومتی ساختمان، بروز گسیختگی در اتصالات (جوش، پیچ، پرچ) در اسکلت‌های فلزی، بروز اندرکنش بین ساختمان‌های مجاور (ایجاد ضربه توسط ساختمان یا آوار به ساختمان مجاور) و در نهایت سقوط آوار به معابر و آسیب به رهگذران یا خودروها رخ می‌دهد.

همان‌طور که اشاره شد، نقشه مخاطره فرونشست در پنج سطح احتمال وقوع خطر صفر در مناطق شمالی و شرقی محدوده موردنظر تا احتمال بسیار زیاد در مناطق مرکزی، غربی و جنوبی استان تهران و البرز تهیه شده است. از نظر شاخص آسیب‌پذیری نیز در محدوده‌های مرکزی و جنوب غربی استان تهران بیشترین احتمال آسیب‌دیدگی وجود دارد، همچنین در مرکز و غرب استان البرز در مناطق نظرآباد و ساوجبلاغ بیشترین آسیب‌پذیری محتمل است و در مناطق شرق و شمال غربی استان تهران کمترین میزان آسیب‌پذیری وجود دارد. در مجموع مناطق مرکزی و جنوب و جنوب غربی در برابر این پدیده وضعیت بحرانی دارد و در حاشیه‌های شمال و شرق از میزان بحرانی بودن شرایط کاسته می‌شود.

با توجه به محدوده خطر فرونشست که در فضای مسکونی، تأسیساتی و زیرساختی استان‌های تهران و البرز است، خطرپذیری ناشی از این پدیده و تحلیل آن به‌منظور اقدامات پیشگیرانه و آمادگی ضرورت می‌یابد، به‌ویژه که وقوع این پدیده در مناطقی با تراکم سازه‌ای و جمعیتی با توسعه فیزیکی نامناسب همراه است، در جات بالایی از خطرپذیری را رقم می‌زند. نقشه خطرپذیری (نقشه

طبق نقشه شماره ۶ مناطق جنوبی شهرستان تهران همچون چهاردانگه، همچنین شهرستان‌های پاکدشت، پیشوا، بخش‌های شمالی شهرستان ورامین و شهرری، بخش میانی شهریار، اسلامشهر، بهارستان بخش‌های شمالی رباط‌کریم از استان تهران و بخش جنوبی شهرستان کرج، هشتگرد و نظرآباد از استان البرز در معرض وقوع این پدیده با احتمال بسیار زیاد است. از طرف دیگر شهر تهران، بخش‌های شمالی هشتگرد، بخش جنوبی ورامین و اشتها در منطقه با احتمال وقوع زیاد فرونشست می‌باشند. همچنین مناطق شمال و شرقی استان تهران و البرز که شامل شهرستان‌های دماوند، فیروزکوه، شمیرانات، مناطق شمالی کرج و ساوجبلاغ است در محدوده با احتمال کم فرونشست هستند.

نقشه نهایی آسیب‌پذیری (نقشه ۱۶) از ترکیب نقشه‌های آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها، آسیب‌پذیری کالبدی، اقتصادی و زیست‌محیطی و سایر نقشه‌ها ایجاد شده است. نقشه آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها (نقشه ۷)، خود از ترکیب نقشه‌های تراکم تأسیسات، تراکم شبکه حمل‌ونقل (نقشه ۱۱)، تراکم خطوط نیرو (نقشه ۱۰) و تراکم ایستگاه‌های گاز (نقشه ۹) تولید شده است. نقشه آسیب‌پذیری ابنیه و بخش اقتصادی نیز از ترکیب نقشه‌های تراکم ابنیه (نقشه ۸)، کاربری‌های آموزشی، فرهنگی و مذهبی (نقشه ۱۲)، تجاری، صنعتی و ورزشی (نقشه ۱۳)، با وزن‌دهی بالا و نقشه‌های تراکم کاربری‌های درمانی و خدماتی با وزن‌دهی متوسط و کاربری‌های اداری (نقشه ۱۴)، کارخانجات و زمین‌های کشاورزی با وزن‌دهی پایین در نظر گرفته شدند.

(نقشه ۱۶) نشان می‌دهد بخش‌های مرکزی استان تهران و البرز در برابر وقوع فرونشست زیاد و بسیار زیاد آسیب‌پذیرند. شهرهای تهران، بخش مرکزی شمیرانات، دماوند، مناطق شمالی شهرری، ورامین، شهریار، کرج و نظرآباد دارای آسیب‌پذیری بسیار بالایی هستند؛ در مقابل با نزدیک شدن به حاشیه منطقه آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد. فرونشست زمین همچنان با نرخ بیش از ۱ میلی‌متر در روز در دشت جنوب تهران در حال گسترش است و تأثیرات منفی در شهر تهران داشته است. می‌توان گفت اثر فرونشست در زمین‌های کشاورزی جنوب استان تهران مهلک‌ترین و زیان‌بارترین پیامد آن است.

بهشت زهرا، اتوبان‌های بین شهری، راه‌ها و معابر شهری و بین شهری اصلی و فرعی که به عنوان اصلی‌ترین محورهای جابه‌جایی کالا و مسافر در استان تهران شناخته می‌شود، با پتانسیل فرونشست مواجه‌اند.

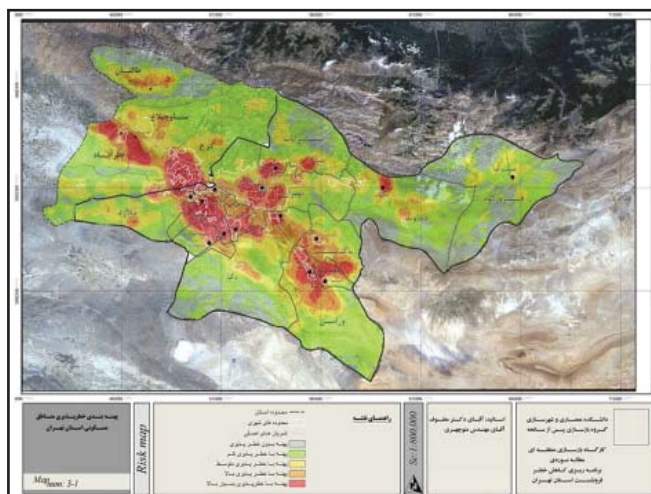
همچنین خروجی‌های راه‌آهن تهران- جنوب و تهران- تبریز، شاخه‌های جنوبی مترو به سمت اسلامشهر و حرم مطهر حضرت امام خمینی و همچنین بخش‌هایی از خطوط مترو در مرکز شهر و نیز بخشی از فرودگاه مهرآباد تهران، در این محدوده مخاطره‌آمیز قرار می‌گیرند. طبق نقشه‌های مخاطره، آسیب‌پذیری و بحران تعدادی انبار مواد نفتی و سوختی و جایگاه‌های پمپ‌بنزین و جایگاه پمپ گاز، ایستگاه گاز، لوله‌کشی‌های انتقال نفت و خطوط فشار قوی برق و خطوط اصلی گاز، کارگاه‌های تولید و یا حاوی مواد خطرناک در محدوده فرونشست تهران قرار دارند. قرارگیری فرودگاه مهرآباد در حاشیه اراضی و زون فرونشست زمین یکی از مهم‌ترین عوامل ریسک فرونشست را در این محدوده به وجود آورده و امکان ایجاد ترک‌ها و شکاف‌های سطح زمین را در این محدوده فراهم می‌سازد. وجود مخاطره و ریسک بالای فرونشست در مناطق شهری نشان‌دهنده میزان اهمیت و لزوم توجه به ابعاد کاهش خطرپذیری در سطح استان است.

نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد باید در برنامه‌ریزی‌ها، آسیب‌پذیری و احتمال وقوع پدیده فرونشست در سطح مناطق شهری و روستایی استان‌های تهران و البرز در نظر گرفته شود و جهات توسعه در این مناطق همسو و در راستای کاهش خطر احتمالی فرونشست زمین باشد. دستاورد کلی مقاله بیانگر آن است که به جهت افزایش جمعیت و روند رو به رشد توسعه و به تبع آن افت سطح آب‌های زیرزمینی، مناطق جنوب و جنوب شرقی استان تهران و مناطق مرکزی و غربی استان البرز در منطقه با احتمال بسیار زیاد رخداد مخاطره فرونشست قرار دارند.

احتمال وقوع فرونشست در دشت‌های جنوب تهران، قرچک و ورامین، پیشوا، پاکدشت، شهریار و نظرآباد، زیاد است. همچنین به علت تراکم بالای جمعیت و فعالیت‌های عمرانی گسترده در

۱۷) از ترکیب نقشه‌های مخاطره (نقشه ۶) و آسیب‌پذیری (نقشه ۱۶) با وزن دهی یکسان در نرم‌افزار جی‌آی‌اس ایجاد شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نقشه‌ی ریسک نهایی دارای ۵ پهنه خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بدون خطر می‌باشد.



نقشه ۱۷. پهنه‌بندی خطرپذیری مناطق مسکونی استان تهران در فرونشست (نگارندگان)

همان‌طور که در نقشه ۱۷ مشخص شده است، پایتخت ایران در وضعیت ریسک بسیار بالای فرونشست قرار دارد. همچنین شهرهای دماوند، محدوده مرکزی کرج، شهرری، پیشوا، منطقه جنوب شرقی شهریار، بهارستان، اسلام‌شهر، نظرآباد و ساوجبلاغ در منطقه‌ای با خطرپذیری بالا ارزیابی می‌شوند. همچنین شهرستان‌های دماوند و فیروزکوه، مناطق جنوبی شهرری و ورامین، ملارد در کل حاشیه‌های استان‌های تهران و کرج در معرض خطرپذیری کمتری قرار دارند. در شهر تهران در مناطق ۱۸، ۱۹، ۲۰ و شهرری به دلیل میزان بالای مهاجرت افراد به این مناطق فرونشست‌های زمین بیشتر است زیرا آب مصرفی جمعیت مهاجر ساکن در مناطق مذکور از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود.

همچنین، گستره نشست دشت شهریار بیشترین سرعت را تجربه کرده و بخش‌هایی از مناطق ۱۶ تا ۲۰ تهران را دربرگرفته و در معرض ریسک بالا قرار دارد. تبعات فرونشست زمین در دشت تهران منجر به افزایش ریسک تخریب تأسیسات زیربنایی و فرونشست در شبکه‌های انتقال گاز و نفت در این منطقه شده است. طبق بررسی‌های به‌عمل آمده از نقشه بحران (نقشه ۱۷) محدوده‌هایی از کمربندی آزادگان، اتوبان قم، جاده ساوه و بزرگراه

این مناطق، آسیب‌پذیری نیز افزایش یافته است. شهرهای تهران، شمال کرج، ملارد، ساوجبلاغ و دماوند نیز در منطقه با احتمال زیاد فرونشست مواجه‌اند. مهم‌ترین پیامدهای ناشی از این فرونشست‌ها، به‌ویژه در دشت‌های جنوبی تهران، ورامین و شهریار عبارت‌اند از شکاف‌های طولی ممتد، شکاف‌های منقطع، حفره‌های مدور، چاله‌های وسیع و فروچاله‌ها که باعث تخریب اراضی کشاورزی و کانال‌های آبیاری، همچنین تغییر شیب زمین در برخی نواحی گردیده است.

در صورت بروز فرونشست، تأسیسات زیرساختی روی زمین نیز تحت تغییرشکل‌های بسیار زیاد قرار خواهند گرفت و این امر می‌تواند سرویس‌دهی این تجهیزات را مختل نماید. ازجمله این تأسیسات می‌توان به بدنه راه‌ها و ریل راه‌آهن اشاره کرد که با توجه به نوع مصالح به کار رفته و اهمیت بالایی عملکردی آن‌ها، زمینه بروز مشکلات متعدد را فراهم می‌نماید. شبکه‌های انتقال آب و خطوط انتقال نفت و گاز و سایر تأسیسات عمرانی از جمله خط آهن سراسری تهران به مشهد در مناطقی از دشت جنوب تهران در معرض خطر جدی نشست زمین و شکاف‌های حاصل از آن می‌باشد. اتوبان تهران-قم، تهران-قزوین، تهران-ساوه و جاده‌های اصلی مواصلاتی پایتخت در محدوده پرخطر فرونشست قرار دارند. با توجه به ساختار کاربری نواحی جنوبی استان تهران شامل دشت ورامین، قرچک، پیشوا و شهرری، همچنین نظرآباد و ساوجبلاغ در استان البرز که محیطی مسکونی، صنعتی و زمین‌های کشاورزی می‌باشند و با توجه به وجود حجم انبوهی از ساخت‌وسازهای سنتی و قدیمی که هنوز در این مناطق مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای درجه آسیب‌پذیری بالایی نسبت به سایر مناطق می‌باشند. در اکثر این مناطق، تراکم بالایی در شهرسازی و ساختمان‌سازی وجود دارد که این امر علاوه بر بروز تخریب‌های گسترده، مخاطرات ثانویه بعد از پدیده فرونشست را بشدت افزایش خواهد داد.

وجود سطوح وسیع کاربری صنعتی و کارگاهی فرامنطقه‌های در این مناطق، استقرار بافت‌های مسکونی حاشیه‌ای در مجاور شبکه ارتباطی موجود و سطوح وسیع تحت عنوان کمربند سبز حفاظتی که عمدتاً اراضی کشاورزی می‌باشند، سبب افزایش خطرپذیری این مناطق گردیده است. در راستای برنامه‌ریزی کاهش خطرپذیری

فرونشست، برداشت از منابع زیرزمینی مهم‌ترین اقدام در راستای کنترل فرونشست زمین می‌باشد. حفاظت و مدیریت صحیح در بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی (به‌خصوص چاه‌ها) نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در حفظ ذخایر و سفره‌های آب‌های زیرزمینی و در نتیجه کاهش ریسک فرونشست دارد. همچنین، تأمین تجهیزات پایشی برای رصد مستمر حرکات پوسته زمین ازجمله فرونشست و سایر مخاطرات زمین‌شناختی در شهر تهران و اطراف آن و شناخت پیش‌نشانگرها ازجمله اقدامات پیشگیرانه و مقابله با پیامدهای این پدیده است. مقاله حاضر، نکات و پیشنهادات ذیل را به‌منظور کاهش و تخفیف خطر فرونشست در استان تهران و البرز ارائه می‌دهد:

۱. یکپارچگی نهادها و سازمان‌های دولتی ذی‌ربط ازجمله وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی، وزارت راه و شهرسازی و سازمان محیط‌زیست جهت تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های کاهش خطر منطقه‌ای آبی در استان‌های تهران و البرز
۲. آموزش لازم به کشاورزان و عموم مردم از سوی سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای و شرکت آب و فاضلاب در راستای مصرف بهینه آب و جلوگیری از هدررفت و خالی شدن سفره‌های آب زیرزمینی
۳. ایجاد و توسعه کانون‌های زیستی، توسعه اراضی و کلیه فعالیت‌های عمرانی بر اساس شناخت کافی از مناطق مستعد فرونشست
۴. تجدید و احیا منابع آبی زیرزمینی با تغذیه طبیعی و مصنوعی
۵. در نظر گرفتن تهدیدات فرونشست در برنامه‌ریزی منطقه‌ای
۶. ثابت نگه داشتن افت آبخوان‌ها
۷. اجرای عملیات عمرانی در سطح استان‌ها با توجه به مخاطره فرونشست
۸. نظارت و پایش مستمر چاه‌های مجاز و منع استفاده از چاه‌های آب غیرمجاز در تمامی مناطق استان‌ها
۹. پیگیری تعیین میزان آب قابل برنامه‌ریزی برای مصارف کشاورزی، صنعتی، شرب و بهداشت
۱۰. جایگزینی پساب با چاه‌های کشاورزی در دشت‌های ممنوعه
۱۱. مدیریت آبی و اصلاح الگوی کشت

<http://geomorphologyjournal.ir/article-1-695-fa.html>

- عالی پور اردی، مهدی؛ ملک محمدی، بهرام؛ جعفر، حمیدرضا؛ (۱۳۹۳)، «پهنه بندی ریسک فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: دشت اردبیل)»، نشریه علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران سال یازدهم- شماره ۳۸- پاییز ۱۳۹۶، صص ۲۵-۳۵. بازیابی از: <http://jwmsei.ir/article-1-341-fa.pdf>

- عقیقی، محمدابراهیم؛ (۱۳۹۵)، «ارزیابی پتانسیل فرونشست زمین و عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی: دشت سیدان فاروق مرودشت)»، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۵، صص ۱۳۲-۱۲۱، بازیابی از:

https://drive.google.com/file/d/1Ly2NUPCVH1G_rl8fPl6zdnihfp0wAf_a/view

- متعهد، فهیمه؛ حافظی مقدس، ناصر؛ غفوری، محمد؛ لشکری پور، غلامرضا؛ (۱۳۹۳)، «ارزیابی خطر قنات های متروکه غرب مشهد با استفاده از نرم افزار پلاکسیس»، نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد هشتم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۳، صص ۲۳۰۰-۲۲۷۷، بازیابی از:

<https://pubj.ricest.ac.ir/index.php/code27zm/article/view/2626/2719>

- یمانی، مجتبی؛ نجفی، اسماعیل؛ عابدینی، محمدحسین؛ (۱۳۸۸)، «ارتباط فرونشست زمین و افت سطح آب های زیرزمینی در دشت قره بلاغ استان فارس»، نشریه جغرافیا، بهار و تابستان ۱۳۸۸ دوره ۳، شماره ۹-۸، صص ۲۷-۹، بازیابی از:

<http://www.sid.ir/FileServer/JF/6006913880901>

- Abidin H. Z., Andreas H., Gumilar I., and Brinkman J. J. (2015), On correlation between urban development, land subsidence and flooding phenomena in Jakarta, Changes in Flood Risk and Perception in Catchments and Cities (HS01 – IUGG2015). Published by Copernicus Publications on behalf of the International Association of Hydrological Sciences.

<https://www.proc-iahs.net/370/15/2015/piahs-370-15-2015.pdf>

- Claudia, B. (2007). Risk-maps informing land-use planning processes; A survey on the Netherlands and the United Kingdom recent developments, Journal of Hazardous Materials. –Delft, the Netherlands: Elsevier B.V.All rights reserved, Vol. 145.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389406013719>

- Khorsandi Aghai ,Ahmad, (2015), Survey of land subsidence – case study: The land subsidence formation in artificial recharge ponds at South Hamadan Power Plant, northwest of Iran, Indian Academy of Sciences, J. Earth Syst. Sci.124, No. 1, February 2015, pp. 261–268c

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12040-014-0532-y>

- Lewis R W and Schrefler B (1978), fully coupled consolidation model of subsidence of Venice; Water Resour. Res. 14(2) 223–230

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR014i002p00223>

۱۲. تقویت و استقرار گروه های گشت و بازرسی

۱۳. نصب کنتور حجمی و هوشمند آب و برق

۱۴. بهسازی و مقاوم سازی خانه ها در بافت های فرسوده با سرعت و

جدیت بیشتر جهت کاهش آسیب پذیری

منابع

- امیغ پی، معصومه؛ عربی، سیاوش؛ (۱۳۸۸)، «گزارش طرح پژوهشی بررسی فرونشست یزد با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و ترازابی دقیق»، سازمان زمین شناسی کشور. بازیابی از:

http://ncc.org.ir/_glsd/documents/yazd-1388.pdf

- افضل، عباسعلی؛ شریفی کیا، محمد؛ شایان، سیاوش؛ (۱۳۹۲)، «ارزیابی آسیب پذیری زیرساخت ها و سکونتگاه ها از پدیده فرونشست زمین در دشت دامغان»، دوفصلنامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران، سال اول، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۲، صص ۷۳-۶۱، بازیابی از:

http://journals.hsu.ac.ir/agi/files/site1/user_files_4dfa14/admin-A-10-1-5-4fd615a

- امینی حسینی، کامبد؛ جعفری، محمدکاظم؛ (۱۳۸۹)، «بررسی خطر فرونشست زمین با نگرش ویژه بر تأثیر زلزله»، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران.

- انگورانی، سعید؛ معماریان، حسین؛ شریعت پناهی، مسعود؛ بلورچی، محمدجواد؛ (۱۳۹۴)، «مدل سازی پویای فرونشست دشت تهران»، مجله علوم زمین، سال ۲۵ام، شماره ۹۷، صص ۲۱۱-۲۲۰، بازیابی از:

http://www.gsjournal.ir/article_41506.html

- دریبک، توماس ای؛ (۱۳۹۲)، «وجوه انسانی بلایای طبیعی»، (نعمت حسینی، مترجم)، سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران. ص ۶۸، بازیابی از:

<http://tdmmo.tehran.ir/Portals/0/Document/1392/vojoooh.pdf>

- رکنی، جعفر؛ حسین زاده، سیدرضا؛ لشکری پور، غلامرضا؛ ولایتی، سعداله؛ (۱۳۹۴)، «بررسی فرونشست زمین، چشم اندازها و تحولات ژئومورفولوژی ناشی از آن در دشت های تراکمی، مطالعه موردی: دشت نیشابور»، نشریه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ششم، شماره بیست و چهارم، تابستان ۱۳۹۴، صص ۳۸-۲۱، بازیابی از:

<http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-929-fa.pdf>

- شمشکی، امیر؛ انتظام سلطانی، ایمان؛ (۱۳۸۴)، «ساز و کار علل تشکیل شکاف های زمین در منطقه معین آباد ورامین». چهارمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، تهران، صص ۱۷۸-۱۹۱، بازیابی از:

https://www.civilica.com/Paper-ICEGE04-ICEGE04_018.html.pdf

- صفاری، امیر؛ جعفری، فرهاد؛ توکلی صبور، سید محمد؛ (۱۳۹۵)، «پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب های زیرزمینی مطالعه موردی: دشت کرج - شهریار»، مجله پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۵، شماره ۲، صص ۹۳-۸۲، بازیابی از:



- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300412000076>
- USGS (United States Geological Survey). (1999). Land subsidence in the United States.
 - Vaezinejad, Seyed Mahmood, Toufigh, Mohammad Mohsen, Marandi, Seyed Morteza, (2011), Zonation and Prediction of Land Subsidence (Case Study-Kerman, Iran), International Journal of Geosciences, 2011, 2, 102-110, http://file.scirp.org/pdf/IJG20110200002_50443789.pdf
 - Waltham, A.C. (1989). Ground subsidence. Blackie & Son Limited
 - Park, I. Choi, J. Jin Lee, M. and Lee, S. (2012). Application of an adaptive neuro fuzzy inference system to ground subsidence hazard mapping. Computers & Geosciences. 48: 228–238. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300412000076>
 - Putra, D.P.E. Setianto, A. Keokhampui, K. and Fukuoka, H. (2011). Land Subsidence Risk Assessment Case Study: Rongkop, Gunung Kidul, Yogyakarta-Indonesia. The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference on Geo- Disaster Mitigation in ASEAN “Past tragedies are the lessons for future mitigation”. The Royal Paradise Hotel & Spa, Phuket, Thailand.