نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲

صفحات ۸۵ – ۱۰۰

مدلسازی و تحلیل آسیب پذیری ناشی از فرونشست زمین در دشت جنوب غربی تهران

فاطمه عمادالدین؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

علی احمدآبادی[1]؛ دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

مروت افتخاری؛ استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

معصومه اسدی گندمانی؛ کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۲/۰۱/۲۱ پذیرش نهایی:۱۴۰۲/۰۹/۱۱

چکیده

امروزه نرخ فرونشست زمین در بسیاری مناطق از جمله سکونتگاه‌های شهری و روستایی به دلیل برداشت بی‌رویه و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، افزایش یافته است. فرونشست زمین اثرات منفی بر اجزای اکوسیستم محیطی از جمله آبخوان‌ها و لایه‌های خاک و همچنین بر زیرساختهای انسان ساخت دارد. بنابراین ارزیابی و تحلیل فضایی آسیب پذیری در وجوه محیطی، سکونتگاه‌های انسانی و زیرساخت‌ها در اثر فرونشست زمین بخصوص در مناطق کلان‌شهری مستعد ضروری است. در پژوهش حاضر دشت جنوب غربی شهر تهران به عنوان عرصه مطالعاتی انتخاب شده و پراکندگی مکانی آسیب پذیری محیطی و همچنین انسانی شامل زیرساخت‌ها، تاسیسات شهری و سکونتگاه‌های اقماری و پر جمعیت شهر تهران، مدل‌سازی و تحلیل گردید. بدین منظور ابتدا با تکنیک تداخل‌سنجی راداری نرخ فرونشست زمین برآورد و همچنین تغییرات عمق آب زیرزمینی در یک بازه ۱۲ ساله استخراج گردیده و میزان همبستگی فضایی فرونشست با تغییرات عمق آب زیرزمینی تحلیل شده است. به منظور مدل‌سازی آسیب پذیری در قالب روش تحلیل شبکه مربعی از نقشه معیارهای عمق و سطح تراز آب زیرزمینی، شبکه رودخانه ،پهنه سیلابی، خطوط مترو، شبکه حمل و نقل جاده‌ای، حاصلخیزی خاک و تراکم جمعیت در مناطق شهری با مدل همپوشانی مکانی SAW استفاده شده است. میانگین فرونشست به صورت پراکنده در چهار پهنه اصلی در سراسر دشت برابر با ۹/۹ سانتی‌متر در ۱۲ سال برآورد شد. نتایج تحلیل همبستگی فضایی فرونشست زمین و تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت جنوب غربی تهران مقدار R برابر با ۰/۶۱ را نشان می‌دهد به عبارتی گویای این واقعیت است که بخش عمده الگوی فرونشست در دشت تهران از تغییرات عمق آب زیرزمینی پیروی می‌کند. نتایج پراکندگی مکانی آسیب‌پذیری، گویای وجود پهنه‌های دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد در مرکز و شمال دشت است. علت آسیب‌پذیری بالای این پهنه‌ها وجود سکونتگاه‌های شهری با تراکم جمعیت بالا، وجود پهنه‌های سیلابی، تراکم بالا راه‌های اصلی ارتباطی، مسیر رودخانه و وسعت زیاد خاک‌های حاصلخیز در این شبکه‌ها است. از طرف دیگر در مناطق جنوبی دشت تهران، پهنه‌هایی با آسیب‌پذیری کم و خیلی کم پراکنده دیده می شود. که علت آن خاک نامناسب، دور بودن از پهنه‌های سیلابی، عدم وجود سکونتگاه‌های شهری تراکم زیاد و تراکم کم راه‌های ارتباطی اصلی است. به نظر می‌رسد نتایج پژوهش بخصوص در بخش پراکندگی مکانی آسیب‌پذیری ناشی از فرونشست، بتواند در تصمیم‌گیری-های توسعه شهری و منطقه‌ای لحاظ گردد تا توسعه با هزینه کمتر محیطی و انسانی بخصوص در آینده همراه شود.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، فرونشست، همبستگی فضایی، تحلیل مربعی، **SAW**.

۱. نویسنده مسئول: Email: Ahmadabadi@khu.ac.ir

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

مقدمه

فرونشست زمین ازجمله مخاطرات محیطی است که امروزه در بیشتر کشورها و ازجمله اکثریت دشت‌های ایران را تهدید می‌کند (رنجبر و جعفری، ۱۳۸۸). فرونشست زمین به معنای واقعی کلمه یک مسئله پنهان است؛ و اثرات فرونشست زمین تا زمانی که به یک مسئله جدی و پرهزینه تبدیل شود نادیده گرفته می‌شود (Bucx, et al., ۲۰۱۵). درواقع اثرات فرونشست در مناطق شهری به شکل زیرساختی، محیطی، اقتصادی و اجتماعی دیده می‌شود و خسارات ناشی از آن بسیار زیاد است بطوریکه نمی‌توان آن را تخمین زد (ABIDIN, et al., ۲۰۱۵). خسارات ناشی از فرونشست می‌توانند مستقیم یا غیرمستقیم باشد. اثرات زیرساختی اثرات مستقیم و غیرمستقیم فرونشست هستند اما اثرات اقتصادی، اجتماعی و محیطی اثرات غیرمستقیم فرونشست هستند (Bucx, et al., ۲۰۱۵). پایین رفتن سطح زمین منجر به تغییرات محیطی می‌شود. اثرات محیطی فرونشست در ارتباط با سایر اثرات فرونشست ازجمله اثرات زیرساختی، اقتصادی و اجتماعی فرونشست است. همچنین اثرات زیرساختی منجر به افزایش اثرات محیطی می‌شود، اثرات زیرساختی و اثرات محیطی ارتباط دوسویه وجود دارد و یکدیگر را تشدید می‌کنند. با توجه به پاسخ نسبتاً طولانی‌مدت اثرات محیطی فرونشست معمولاً هنگامی‌که تأثیرات باعث اختلال فعالیت‌های روزمره ما می‌شود، متوجه می‌شویم (ABIDIN, et al., ۲۰۱۵). هدف تحلیل فضایی تحلیل پراکندگی‌ها یعنی توصیف ساختار فضایی و استدلال این ساختارها از طریق روابط فضایی و سرانجام برنامه‌ریزی فضایی فعالیت‌های انسان است (علیجانی، ۱۳۹۴). در جاکارتا فرونشست زمین بر سیلاب‌های داخلی اثرگذار بوده است (۲۰۱۶ MOE, et al.,). فرونشست زمین علاوه بر اینکه می‌تواند جهت رودخانه و کانال‌ها را تغییر دهد (۲۰۱۲ d' Angremond and van de Water,)، سبب اختلال در سیستم زهکشی سطحی و کاهش ذخایر آبخوان‌ها می‌شود (۲۰۰۳ Hoffmann et al,). درنتیجه اراضی پایین‌دست رودخانه ازنظر آبیاری دچار مشکل می‌شوند. علاوه بر این موجب کاهش سطح و میزان جریان می‌شود که نه‌تنها بر دسترسی آب تأثیر می‌گذارد بلکه بر انتقال بین‌حوضه‌ای آب و یکپارچگی ساختارهای فیزیکی نیز اثر می‌گذارد (Barrett et al, ۲۰۱۳). فرونشست سبب کاهش سطح آب‌های زیرزمینی می‌شود که کاهش سطح آب‌های زیرزمینی ممکن است باعث کاهش حجم آبخوان شود و درنتیجه کاهش یا از بین رفتن آب چاه شود و سطح انتقال آب به چشمه یا چاه‌ها و دیگر منابع آب سطحی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و استخرها) را کاهش دهد (Steve Blodgett, ۲۰۰۲). شهرنشینی از نفوذ آب به خاک جلوگیری کرده است و موجب کاهش ظرفیت نگهداری آب در خاک شده است. که این به‌نوبه خود، باعث کاهش مقدار آب زیرزمینی شود .حتی اگر سطح آب افزایش یابد، رسوبات فشرده باقی خواهند ماند (۲۰۱۸ USGS,). میزان نشست به دو عامل، نوع رسوبات و فشار بین‌ذره‌ای بستگی دارد. هرچه دانه‌بندی ریزتر و میزان رس بیشتر منجر به قابلیت تراکم بیشتر و درنتیجه نشست بیشتر سطح زمین می‌شود. بررسی انجام‌شده در دلتای مکونگ در ویتنام نشان می‌دهد که پایین‌ترین میزان فرونشست برای کلاس‌های کاربری اراضی در اراضی توسعه‌نیافته، مانند اراضی مردابی و تالاب (۶ - ۷ میلی‌متری در سال) و بالاترین میزان برای نواحی با کشاورزی با کشت ترکیبی (۱۸ - ۱۸ میلی متر بر سال) را نشان می‌دهد (Minderhoud, et al., ۲۰۱۸). فرونشست دشت تهران در ابتدا توسط اندازه‌گیری‌های سازمان نقشه‌برداری کشور در دهه ۱۳۷۰ موردتوجه قرار گرفت. از سال ۱۳۸۴ مسئولیت بررسی این پدیده در دشت تهران به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور سپرده شد. همواره عوامل مختلفی را برای رخداد پدیده فرونشست زمین مطرح می‌کنند اما همواره مهم‌ترین عامل برداشت بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی عنوان می‌شود (مبتکرسرایی و همکاران،۱۳۹۲). دشت جنوب غربی تهران به دلیل دارا بودن پهنه‌هایی وسیع از زمین‌های مسکونی، کشاورزی و صنعتی از جنبه‌های مختلف

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

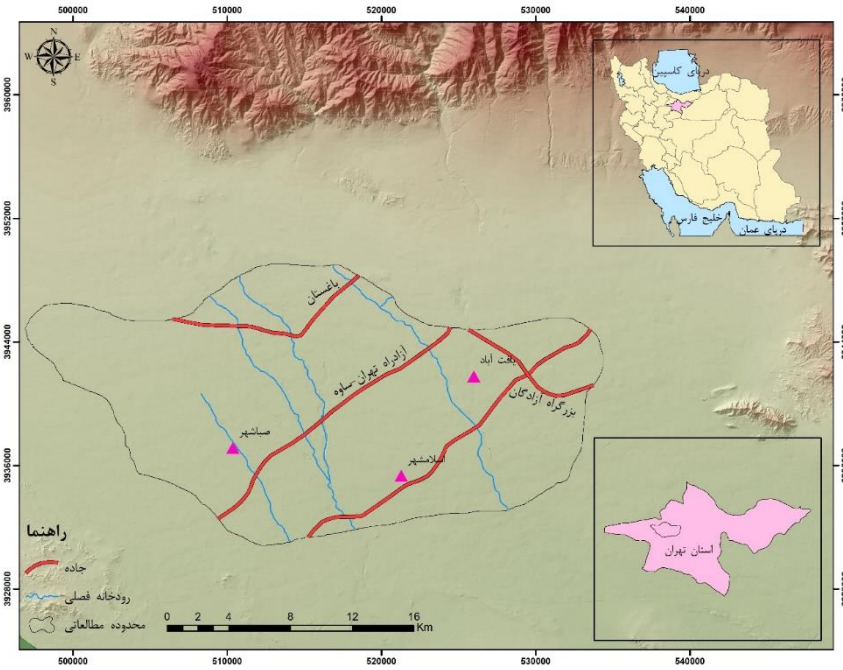
به‌ویژه اقتصادی، سیاسی و اجتماعی جزو مهم‌ترین دشت‌های ایران محسوب می‌گردد. وجود ویژگی‌های یادشده در حالی است که در سطح دشت به‌جز چند رودخانه فصلی و کم‌اهمیت رودخانه دائمی پرآب و مهمی جریان ندارد. درگذشته بخش عمده آب موردنیاز این دشت از طریق شبکه گسترده‌ای از قنات‌ها و آب رودخانه‌های کرج و کن تأمین میشده است. از سال ۱۳۸۴ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی در زمینه پدیده فرونشست مطالعات داشته است. اندازه‌گیری‌ها در سال ۱۳۹۴ نشان داده که فرونشست دشت جنوب غربی تهران به ۳۶ سانتی‌متر مربع رسیده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۴). افت آب زیرزمینی و برداشت آب از اعماق عامل اصلی فرونشست دشت تهران هستند؛ که ضخامت خاک رس، گسل و فعالیت بشری پارامترهای تشدیدکننده بر فرونشست دشت تهران هستند (مبتکرسرایی و همکاران، ۱۳۹۱). تکنیک تداخل سنجی راداری و تصاویر ماهواره‌ای نشان داده ۴۰ درصد از منطقه ۱۸ تهران با فرونشست نرخ ۱-۲۵ سانتی‌متر درگیر هستند که با توجه به تراکم زیاد جمعیت با بروز پدیده فرونشست تلفات زیاد انسانی همراه است (کریمی و همکاران،۱۳۹۲). آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر فرونشست جنوب تهران با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری نشان داد اکثر سکونتگاه‌ها و جمعیت ساکن در آن‌ها و تأسیسات موجود در محدوده آسیب‌پذیر است اکثر ساخت‌وسازهای موجود در منطقه غیراصولی و غیرمتناسب با شرایط مخاطره‌آمیز آن بوده است (شریفی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۲). بررسی‌های ژئوتکنیکی و لرزه‌شناسی نشان داد مهم‌ترین عامل فرونشست زمین‌های آبرفتی جنوب غربی تهران بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی است که برگشت‌ناپذیر بوده و ادامه آن باعث تغییر در خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان خواهد شد (صادقی و همکاران،۱۳۹۳). با استفاده از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی و اکسل نرخ متوسط سالیانه فرونشست در دشت تهران ۳۹ سانتی‌متر در مساحت ۴۱۵/۶۴ کیلومتر مربع محاسبه شد (عطایی و زمانی‌پور، ۱۳۹۵). فرونشست دشت تهران در نرم‌افزارهای GMS، PMWIN و روش PEST برآورد شد. که نشان داد هدایت هیدرولیکی ۳۵-۳ متر در روز متغییر است. همچنین بیشترین فرونشست مربوط به شرکت تیزرو یافت‌آباد و خلازیر با نرخ ۲۰ سانتی‌متر در سال می‌باشد (خورسندی آقائی و دیبایی، ۱۳۹۶). با مقایسه مدل ALPRIFT و الگوریتم ژنتیک در آسیب‌پذیری دشت جنوب غربی تهران مشخص شد الگوریتم ژنتیک توانایی بیشتری در ارزیابی فرونشست دارد (منافی آذر و همکاران، ۱۳۹۷). بررسی رفتار فرونشست در منطقه غربی تهران با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و تصاویر سنتینل-۱ نشان داد جابجایی تنها محدود به مناطق دشتی و غیر شهری نبوده بلکه به مناطق صنعتی و شهری نیز گسترش یافته است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۸). تحلیل فرونشست منطقه ۱۸ تهران تکنیک تداخل‌سنجی راداری اتوبان آیت الله سعیدی و آزادگان و خطوط ریلی تهران-تبریز متاثر از فرونشست هستند (مرادی و همکاران، ۱۳۹۹). فرونشست دشت نظرآباد با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ نشان داد مقادیر حداکثری فرونشست در کاربری زراعی، محدوده شهری و مراتع با تاج پوشش فقیر قرار دارند (افتخاری و عمادالدین، ۱۴۰۰). هرچند تحقیقات متعددی در زمینه عوامل بروز، میزان و پهنه‌بندی فرونشست صورت گرفته است؛ اما در زمینه برآورد فرونشست و تغییرات تراز آب، همبستگی فضایی فرونشست با تغییرات تراز آب و برآورد آسیب‌پذیری ناشی از فرونشست با توجه به تراکم جمعیت، سکونتگاه‌ها و تاسیسات در دشت جنوب غربی تهران انجام نشده است. بنابراین در پژوهش حاضر به تحلیل و برآورد همبستگی فضایی پدیده فرونشست با تغییرات تراز آب و همچنین اثرات محیطی فرونشست در دشت جنوب غربی تهران خواهیم پرداخت.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

داده‌ها و روش‌کار

الف) قلمرو جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در دامنه جنوبی بخش مرکزی رشته کوه‌های البرز با مساحتی حدود ۴۳۹ کیلومتر مربع در استان تهران بین عرض شـــمالی ۵۰ درجه و ۹۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه و طول شـــرقی ۳۵ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۶۸ دقیقه قرار دارد. بهره‌برداری از آبخوان دشـت تهران توسـط چاه‌های عمیق، نیمه عمیق و قنات صـورت می‌گیرد. سـفره آب زیرزمینی دشت جنوب غربی تهران سه بخش سفره شمالی، سفره اصلی و سفره آب‌های محلی تقسیم می‌شوند. بر اساس اولین آمار موجود از منابع آب زیرزمینی دشـــت تهران، در ســـال ۱۳۴۵ تعداد ۵۲۲ رشـــته قنات دائمی موجود بوده که در مجموع میزان آبدهی سالیانه آن‌ها حدود M.C.M۳۹۳ بوده است. در سال ۱۳۸۲ تعداد رشته قنات به ۹۶ رسیده است؛ که بیشتر آن‌ها خشک شده‌اند و تنها ۶ رشته از آن‌ها دایر هستند. همه این قنات‌ها مصرف کشاورزی دارند و مجموع برداشت آب زیرزمینی توسـط آن‌ها برابر ۴/۰۷۳ میلیون متر مکعب در سـال می‌شـود؛ که این مطلب بیانگر کاهش دبی چاه‌ها و قنات‌های منطقه، به دلیل کاهش سـطح سـفره آب زیرزمینی اسـت. متوسـط بارندگی در دشـت جنوب غربی تهران در حدود ۲۵۰ میلی‌متر و رژیم بارش مدیترانه‌ای است. ضـخامت آبرفت در قسـمت شـمالی به بیش از ۴۰۰ متر و در قسـمت شـمال‌غربی به حدود ۳۰۰ متر می‌رسـد. در بخش‌هایی از شـمال، شـرق، جنوب‌شـرق و جنوب‌غرب دشـت، به دلیل بالاآمدگی سـنگ کف ضـخامت آبرفت به کمتر از ۲۵ متر نیز می‌رسـد. با اسـتفاده از نقشـه خاک منطقه مطالعه که در چهار کلاس خاک‌های با محدودیت متوسـط زهکشـی برای زراعت‌های آبی، خاک‌های با محدودیت نسـبتاً زیاد اقلیمی و عمق برای مرتع، خاک‌های با محدودیت کم تا نسبتاً زیاد زهکشی برای زراعت‌های آبی، خاک‌های با نسبتاً زیاد تا زیاد شوری و یا زهکشی برای زراعت‌های آبی، اراضی شهری طبقه‌بندی می‌شوند. در این منطقه راه‌های شریانی مهمی همچون اتوبان تهران-قم، تهران-ساوه و اتوبان آزادگان تهران همچنین خط مترو که فرودگاه امام را به تهران متصـل می‌کند واقع‌شـده اسـت. (سـازمان زمین‌شـناسـی و اکتشافات معدنی کشور،۱۳۸۴).



شکل(۱). موقعیت دشت جنوب غربی تهران

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

ب)داده و روش کار

در این پژوهش از تکنیک InSAR و روش تحلیل مربعی در دشت جنوب غربی تهران استفاده شده است. بدین منظور از داده‌های پیزومتریک (عمق و سطح آب زیرزمینی)، نقشه خاک ۱:۱۰۰۰۰۰، کاربری اراضی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ به‌منظور شناسایی نوع و موقعیت گسل‌ها و رودخانه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای ENVISAT برای تهیه نقشه فرونشست در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۶، نقشه‌ی پهنه‌بندی سیلاب ۱/۵۰۰۰۰ منطقه مطالعاتی و دوربین عکس‌برداری و دستگاه GPS به‌منظور برداشت‌های میدانی استفاده شده است. نقشه معیارهای پژوهش حاضر با استفاده از روش ANP (احمدآبادی و قاسمی، ۱۳۹۵) وزن‌دهی و در آخر با روشSAW (عمادالدین و همکاران، ۱۴۰۰) در نرم‌افزار Arc GIS ۱۰،۸ همپوشانی می‌شوند و نقشه آسیب‌پذیری ناشی از فرونشست زمین در منطقه مطالعاتی تهیه می‌گردد.

- **تکنیک InSAR**

اینترفرومتری یک روش عالی برای تشخیص حضور ساختارهای زیرزمینی که از طریق نشست سطح آشکار شده فراهم می‌کند. ایده این روش به دست آوردن دو یا چند تصویر SAR از منطقه و مقایسه دامنه‌ها و فازهای پیکسل‌های متناظر در دو تصویر است. زوج تصویر باید یکی قبل و دیگری بعد از حادث شدن نشست با فاصله یک ماه یا بیشتر دریافت شود. در این روش تصاویر مختلط راداری که دارای مقادیر فاز و دامنه موج برگشتی از عارضه به سمت سنجنده هستند با یکدیگر تلفیق شده و تصویری به نام تداخل نگار تولید می‌شود. تداخل نگار تصویری است که از اختلاف فاز دو تصویر به دست آید در دو زمان مختلف که از نظر هندسی به طور دقیق بر روی هم منطبق شده‌اند، حاصل می‌شود (حقیقت مهر و همکار،۱۳۹۱). در سال‌های اخیر تحقیقات وسیعی بر روی استفاده از این فن برای اندازه‌گیری حرکت و تغییرات سطح زمین انجام شده‌است به تدریج در این فن می‌توان به دقت یک سانتی‌متر و حتی بهتر رسید (رهنمون فر و همکاران، ۱۳۸۴). در نتیجه این فن از قدرت تفکیک فضایی بالایی برخوردار است. در رابطه (۱) فرونشست در محدوده جنوب غربی تهران براساس داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از روش InSAR بدست آمده است. اندازه گیری های تداخل‌سنجی راداری سنجش از راه دور توسط مرکز نظارت و مدل سازی زلزله و زمین شناسی در دانشگاه آکسفورد انگلستان انجام شده است (Mahmoudpour, et al.،۲۰۱۶).

$$D = -insar - d \Big/ \cos\left(i * pi \Big/ 180\right)$$

رابطه(۱)

که درآنD میزان جابجایی عمودی، (insar-d)گرفته شده از اندازه‌گیری insar، i زاویه برش برابر با ۲۴/۶ است.

- **روش تحلیل مربعی**[۲]

این روش یک توزیع نقطه‌ای را با آزمون چگونگی تغییر تراکم آن در فضا، ارزیابی می‌نماید. مراحل فرایند این تحلیل به شرح زیر است:

  - سطح منطقه مورد مطالعه به صورت شبکه‌ای با اندازه‌های یکسان و مربع شکل تقسیم می‌شود.

[۲] Quadrat analysis

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

- تعداد نقاط واقع در هر مربع شمارش می‌شود.
- فراوانی مربع‌ها باهم مقایسه می‌شود.

در انجام این تحلیل بایستی دقت شود که همه مربع‌ها هم اندازه باشند. البته از اشکال دیگری غیر از مربع نیز می‌توان استفاده کرد که در میان اشکال هندسی مختلف، چندضلعی‌ها با پدیده‌های جغرافیایی سازگارتر هستند. اندازه مربع‌ها نیز جای بحث دارد. بر اساس نظر اسمیت و همکاران اندازه مناسب برای مربع‌ها از حاصل تقسیم «دو برابر مساحت منطقه» بر «تعداد نقاط» به دست می‌آید. تقسیم فضا به مربع‌ها می‌تواند به دو طریق ساده (تقسیم همه منطقه به مربع‌های هم‌اندازه به‌صورت شبکه) یا تصادفی انجام شود (O'Sullivan and Unwin, ۲۰۱۰).

شرح و تفسیر نتایج

برای این منظور ابتدا میزان فرونشست با تکنیک InSAR و مقادیر تغییرات عمق آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۶ برآورد می‌شود. از آنجایی که تغییرات آب زیرزمینی اطراف دشت بر میزان فرونشست می‌تواند مؤثر باشد ۴۷ چاه پیزومتری در منطقه مطالعه و اطراف آن انتخاب شد. با استفاده از مدل همبستگی فضایی، همبستگی فرونشست با آب زیرزمینی بررسی می‌شود. مرحله دیگر از پژوهش حاضر تحلیل آسیب‌پذیری ناشی از وقوع فرونشست در منطقه مطالعاتی است که برای انجام این بررسی ابتدا منطقه مطالعاتی را با استفاده از تحلیل فضایی با روش تحلیل مربعی (چهارخانه) به واحدهای مطالعاتی کوچک‌تر تقسیم می‌شود. در مرحله بعد با وزن دهی معیارها با روش ANP ارتباط فرونشست با عمق و سطح آب زیرزمینی، رودخانه، پهنه‌های سیلابی، راه‌های ارتباطی، خط مترو، حاصلخیزی خاک و مناطق شهری دشت جنوب غربی تهران به دست می‌آید. نتیجه نهایی نقشه پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری در اثر فرونشست در محدوده مطالعه با استفاده از روش SAW در محیط نرم‌افزار ArcGIS است که پهنه‌های با خطرپذیری خیلی کم، متوسط و زیاد در سطح دشت جنوب‌غربی تهران مشخص می‌شود.

- **تحلیل میزان فرونشست سال ۱۳۸۴**

با استفاده از تکنیک InSAR میزان فرونشست در سال ۱۳۸۴ برآورد شده است (شکل ۲). بیشترین میزان فرونشست در محدوده مطالعه در سال در پنج پهنه اصلی اتفاق افتاده است. به‌طوری‌که پهنه‌های فرونشست در قالب پهنه‌های A,B,C,D و E در سراسر دشت تهران پراکنده‌شده‌اند. پهنه‌های B و D با بیشترین میزان فرونشست و پهنه‌های A و C کمترین میزان فرونشست روبه‌رو هستند. حداکثر میزان فرونشست در محدوده ۱۶ سانتی‌متر در سال و حداقل میزان فرونشست کمتر از ۲ سانتی‌متر در سال بوده است. میانگین فرونشست بیشتر از ۵/۵ سانتی‌متر در این سال بوده است. مقایسه نقشه فرونشست در سال ۱۳۸۴ با خاکشناسی محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد که این پهنه‌ها، مناطقی با ضخیم‌ترین رس هستند.

- **تحلیل میزان فرونشست سال ۱۳۹۶**

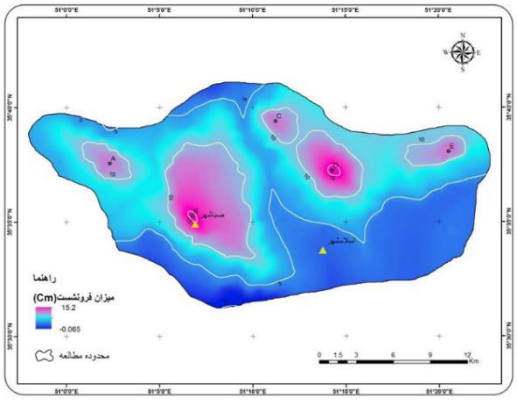
میزان فرونشست زمین در سال ۱۳۹۶ با استفاده از داده‌های Insar برای بررسی و کالیبراسیون مدلسازی محاسبه شده است. بر اساس نتایج محاسبه‌شده، حداکثر فرونشست زمین در پاسخ به برداشت آب‌های زیرزمینی در سال ۱۳۹۶ تقریباً به ۳۳ سانتی‌متر رسیده است. در مدلسازی چهار پهنه فرونشست A,B,C,D دیده می‌شود. نقاط A,D بیشترین

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

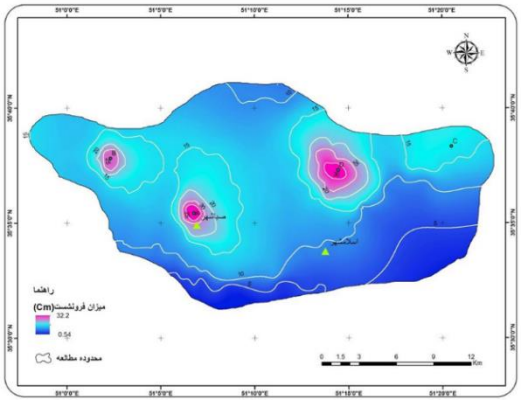
میزان فرونشست به ترتیب ۳۱ و ۳۳ سانتی‌متر بر سال است. نقاط B و C میزان فرونشست ثبت‌شده به ترتیب ۲۶ و ۱۹ سانتیمتر است (شکل۳). دو ویژگی مهم مدل نشان می‌دهد مناطق فرونشست بحرانی گسترش‌یافته و میزان فرونشست از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶ افزایش‌یافته است. حداقل میزان فرونشست در سال ۱۳۸۴ کمتر از ۲ سانتی‌متر و در سال ۱۳۹۶ کمتر یا مساوی ۵ سانتی‌متر در سال رسیده است. نتایج به‌خوبی نشان‌دهنده توسعه فرونشست زمین از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶ در دشت جنوب غربی تهران است.

- **تحلیل میانگین فرونشست سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۶**

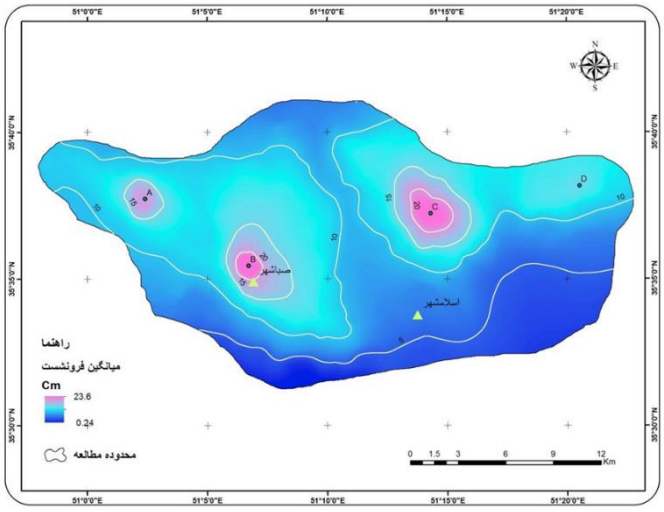
میانگین فرونشست در بازه زمانی مورد مطالعه حدود ۹/۹ سانتی‌متر در سال است. میانگین فرونشست در چهار پهنه اصلی اتفاق افتاده است (شکل ۴) به‌طوری‌که پهنه‌های فرونشست در قالب پهنه‌های C،B،A و D در سراسر دشت تهران پراکنده‌شده‌اند؛ که به ترتیب پهنه B با حداکثر میزان فرونشست تقریباً ۲۳/۶ سانتی‌متر در سال در نزدیکی صباشهر، پهنه C با ۲۳/۳ سانتی‌متر در سال در قسمت شمال‌شرقی منطقه مطالعاتی، پهنه A با ۱۹/۶ سانتی‌متر در سال در غرب منطقه و پهنه D با حداقل میزان فرونشست برابر ۱۴ سانتی‌متر در سال در قسمت شرقی دشت، نزدیک به منطقه ۱۹ تهران گسترش‌یافته‌اند.



شکل(۲). میزان فرونشست در سال ۱۳۸۴ در دشت جنوب غربی تهران



شکل(۳). میزان فرونشست در سال ۱۳۹۶ در دشت جنوب غربی تهران

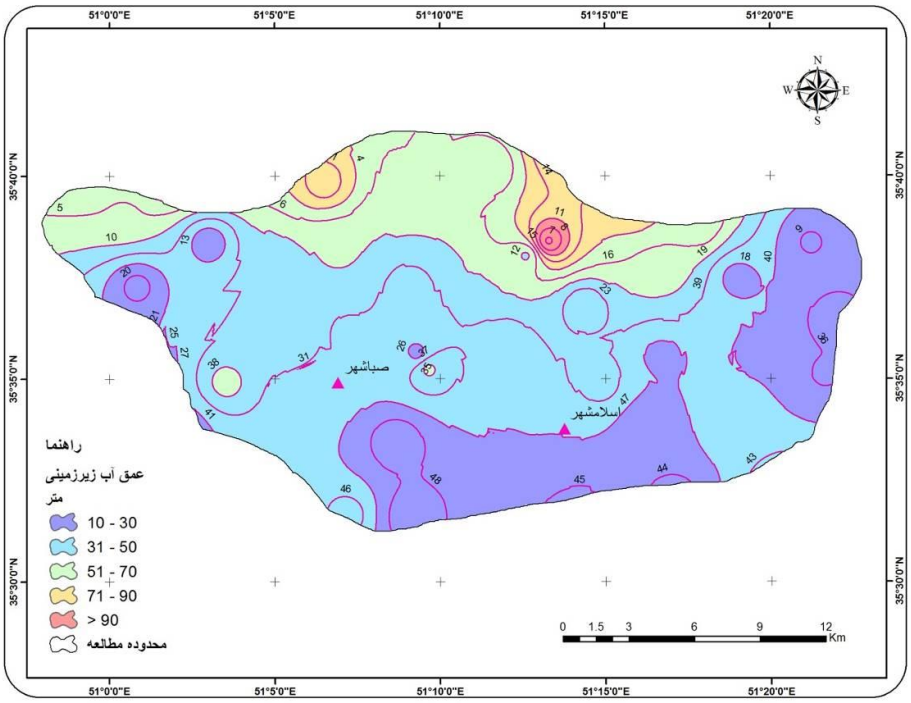


شکل(۴). میانگین فرونشست در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۹۶ در دشت جنوب غربی تهران

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

- **تحلیل عمق آب زیرزمینی**

نتایج حاصل از درون‌یابی عمق آب‌های زیرزمینی منطقه حاکی از روند کلی افزایش عمق از جنوب به شمال دشت است. در پهنه شمالی با میانگین ۱۶ ساله (سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۹۶) عمق آب زیرزمینی، به بیشتر از ۹۰ متر در ایستگاه قلعه سلیمان خانی می‌رسد و همچنین در پهنه جنوب شرق میانگین آن به ۱۰ متر در ایستگاه جعفرآباد جنگل مشاهده می‌شود. از طرف دیگر دو پهنه اصلی در شمال منطقه بیشترین عمق آب زیرزمینی را دارند که نشان‌دهنده برداشت بیشتر آب زیرزمینی در این پهنه‌ها است؛ که ازنظر بصری در مقایسه با نقشه میانگین نرخ فرونشست، با بیشتر پهنه‌های اصلی میزان فرونشست بالا منطبق است (شکل۵).



شکل (۵). عمق آب زیرزمینی در دشت جنوب غربی تهران

- **تحلیل همبستگی فرونشست با آب زیرزمینی**

به‌منظور بررسی ارتباط فرونشست زمین در دشت تهران با وضعیت آب‌های زیرزمینی از تحلیل همبستگی فضایی استفاده شد نتایج نشان می‌دهد بین لایه‌ی مکانی میانگین نرخ فرونشست دشت تهران با داده‌ی مکانی سطح تراز آب زیرزمینی ارتباط مستقیم معناداری وجود دارد و مقدار R برابر با ۰/۶۱ است (جدول ۱) که نشان می‌دهد بخش عمده الگوی فرونشست در دشت تهران از سطح آب زیرزمینی پیروی می‌کند بنابراین می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر پایین رفتن سطح آب زیرزمینی در وقوع فرونشست‌های دشت تهران به‌عنوان یک عامل اصلی باشد.

جدول(۱). همبستگی فرونشست با آب زیرزمینی

	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
سطح تراز آب زیرزمینی	۹۴۰	۱۱۷۸	۱۰۹۲	۳۴
میانگین نرخ فرونشست	۰/۲۴	۲۳/۶	۹/۹	۳/۹
۰/۶۱		میزان همبستگی (R)		

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

- **تحلیل اثرات محیطی فرونشست**

جهت تحلیل اثرات محیطی فرونشست از معیارهای عمق آب زیرزمینی، سطح آب زیرزمینی، رودخانه، سیلاب، خاک، مترو، جاده و مناطق شهری استفاده‌شده است؛ که در ادامه به تحلیل شبکه‌ای هرکدام از معیارها در قالب نقشه معیار پرداخته می‌شود.

- **نقشه معیار عمق آب زیرزمینی**

نقشه معیار عمق آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از معیارهای مهم در تحلیل شبکه‌ای فرونشست زمین مطرح است. نقشه پراکندگی عمق آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی در قالب شبکه‌های چهارگوش نشان می‌دهد که روند کلی تغییرات میزان عمق آب از شمال به جنوب کاهشی است به‌طوری‌که در تعدادی از شبکه‌های جنوب و شرق کمترین عمق و در شبکه‌های شمالی بیشترین عمق وجود دارد؛ اما در قسمت عمده دشت عمق آب زیرزمینی در سطح متوسطی قرار دارد. شکل ۶ نشان می‌دهد اسلامشهر و صباشهر در شبکه‌های با عمق آب زیرزمینی کم قرار دارند.

- **نقشه معیار سطح آب زیرزمینی**

نقشه پراکندگی میزان سطح آب زیرزمینی (شکل۷) بر اساس داده‌های پیزومتریک نشان می‌دهد که روند کلی تغییرات میزان سطح آب زیرزمینی از شمال‌غرب به جنوب شرق کاهشی و در ۵ طبقه کمتر از ۱۰۵۰ تا بیشتر از ۱۱۱۱ قرار دارد. به‌طوری‌که در تعدادی از شبکه‌های جنوب و جنوب شرق سطح آب زیرزمینی کمتر از ۱۰۵۰ متر و در شبکه‌های شمالی و شمال غربی بیشترین سطح آب زیرزمینی (بیشتر از ۱۱۱۱ متر) دیده می‌شود؛ سطح آب زیرزمینی در صبا شهر بین ۱۰۷۱ تا ۱۱۱۰ و در اسلامشهر بین ۱۰۵۱ تا ۱۰۹۰ متغییر است.

- **نقشه معیار رودخانه**

به‌طورکلی فرونشست بر شیب جریان رودخانه اثر می‌گذارد و این به‌نوبه خود بر انتقال آب بین رودخانه و آبخوان تأثیر می‌گذارد و منجر می‌شود تا مزارع احتیاج به پمپاژ بیشتر آب‌های زیرزمینی داشته باشند. با استفاده از نقشه رودخانه‌های محدوده مطالعه نقشه معیار رودخانه با استفاده از روش مدلسازی شبکه‌ای تهیه شد (شکل۸). نتایج حاصل از پراکندگی شبکه‌ها نشان می‌دهد که رودخانه‌ها سه روند خطی از شمال و شمال غرب به جنوب دارند؛ که پراکندگی آن‌ها بیشتر در مرکز محدوده مطالعه است. شبکه‌هایی که تراکم نقاط بیشتر است نشانگر آن است که رودخانه در آن‌ها تراکم و تأثیر بیشتری دارد و هر چه تراکم نقاط کمتر می‌شود تراکم و تأثیر رودخانه نیز کم می‌شود.

- **نقشه معیار سیلاب**

در حقیقت فرونشست سبب تغییر توپوگرافی و درنهایت سیل می‌شود. سیل نیز می‌تواند سبب تغییرات در رواناب و الگوهای جریان در سطح زمین شود. جهت تهیه نقشه معیار سیلاب، از نقشه پهنه‌های سیلابی استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل شبکه‌ای نشان می‌دهد که تراکم نقاط در هر شبکه با وسعت پهنه‌های سیلابی و تأثیر آن ارتباط مستقیم دارد به‌طوری‌که شبکه‌هایی که تراکم بیشتری دارند پهنه‌های سیلابی با وسعت بیشتر و تأثیر آن بیشتر و شبکه‌هایی که تراکم کمتری دارند وسعت پهنه‌های سیلابی کم و تأثیر آن نیز کمتر است. با توجه به شکل ۹ میزان سیلاب در مرکز دشت بیشتر است. در اثر وقوع فرونشست زمین در پهنه‌های سیلابی احتمال افزایش پهنه‌ی سیلابی و

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

درنتیجه افزایش خسارات ناشی از سیلاب وجود دارد؛ بنابراین در ارزیابی اثرات محیطی فرونشست باید به پهنه‌های سیلابی و ارتباط با پهنه‌های فرونشست توجه گردد.

- **نقشه معیار جاده**

جهت تهیه نقشه معیار جاده از نقشه راه‌های ارتباطی اصلی محدوده مطالعاتی استفاده‌شده و سپس با استفاده از مدلسازی شبکه‌ای نقشه موردنظر تهیه شد و تراکم نقاط نشان‌دهنده تراکم راه‌های دسترسی شریانی و اصلی است. با توجه به شکل ۱۰ تراکم جاده‌ها در منطقه ۱۹ تهران (شرق محدوده مطالعه) زیاد و به سمت مرکز و جنوب که از اسلامشهر نیز می‌گذرد، میزان تراکم کاهش می‌یابد. در این منطقه راه‌های شریانی مهمی همچون اتوبان تهران-قم، تهران-ساوه و اتوبان آزادگان تهران قرار دارد.

- **نقشه معیار مترو**

برای تهیه نقشه معیار مترو از نقشه خطوط مترو در محدوده مطالعه استفاده شد. طیف رنگی شکل ۱۱ نشان‌دهنده طول خط مترو در هر شبکه است به‌طوری‌که با توجه به عبور خط مترو از شمال شرق به جنوب و مرکز منطقه مطالعاتی بیشتر تراکم خط مترو در این مناطق دیده می‌شوند.

- **نقشه معیار مناطق شهری**

سکونتگاه‌ها و مناطق شهری به علت استقرار انسان و تأسیسات خدماتی و سکونتی آسیب‌پذیری زیادی در اثر وقوع فرونشست زمین دارند و آسیب و خسارات زیادی را در پی‌دارند. به همین منظور به‌عنوان یک نقشه معیار مهم در آسیب‌پذیری محیطی ناشی از فرونشست مدنظر قرارگرفته است. نقشه معیار درصد منطقه شهری در هر شبکه چهارگوش به دست آمد که در شکل ۱۲ ارائه‌شده است و نشان می‌دهد پهنه‌های جنوبی و شمال شرقی منطقه مطالعاتی به علت استقرار سکونتگاه‌های شهری ازجمله اسلامشهر، منطقه شهرداری تهران و سایر مناطق سکونتگاهی ازجمله صباشهر در اثر وقوع فرونشست می‌تواند آسیب‌پذیر باشد. بیشتر این مناطق به‌عنوان سکونتگاه‌های اقماری اطراف تهران هستند و در برخی از این مناطق ضوابط ساخت‌وساز ایمن بعضاً رعایت نشده است.

- **نقشه معیار خاک حاصلخیز**

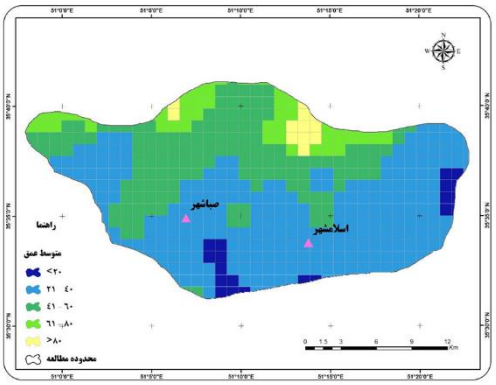
تراکم ناشی از فرونشست بر بافت خاک تأثیر زیادی دارد. به‌طوری‌که این تأثیر بر خاک‌های حاصلخیز محسوس‌تر است. ازاین‌جهت منطقه مطالعاتی به دو کلاس خاک حاصلخیز و غیر حاصلخیز تقسیم شد و در هر شبکه مساحت کلاس خاک حاصلخیز به دست آمد. نتایج پراکندگی خاک حاصلخیز نشان می‌دهد بخش عمده منطقه دارای خاک حاصلخیز است و وقوع فرونشست می‌توان تأثیرات منفی بر حاصلخیزی و بافت خاک در منطقه مطالعاتی داشته باشد. شبکه‌های مرکز، شمال، غرب و بخشی از شرق منطقه مطالعاتی از خاک حاصلخیز برخوردار است. شکل ۱۳ نشان می‌دهد صبا شهر در شبکه‌های با کلاس خاک حاصلخیز (بیشتر از ۸۰ درصد مساحت خاک حاصلخیز) قرار دارد.

- **نقشه معیار میانگین فرونشست**

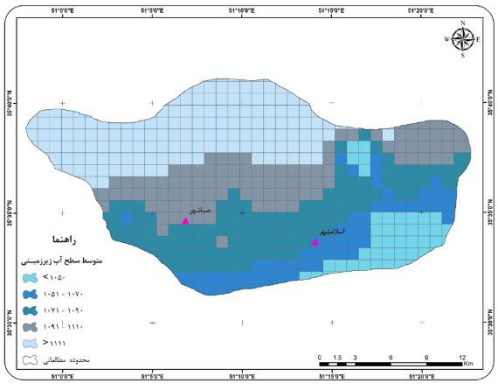
نقشه معیار فرونشست از نقشه‌های میانگین فرونشست سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۶ استخراج شد و مقدار میانگین فرونشست در هر شبکه به دست آمد. نقشه پراکندگی میانگین فرونشست دو شبکه فرونشست اصلی و یک شبکه

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

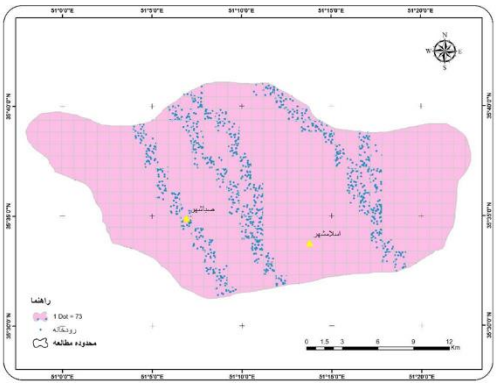
فرونشست فرعی را در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد که بیشترین میزان فرونشست در مرکز محدوده مطالعاتی بوده و تهدیدی برای صباشهر محسوب می‌شود و و بافاصله از مرکز میزان فرونشست نیز کاسته می‌شود. میانگین فرونشست در صبا شهر بیشتر از ۲۰ سانتی‌متر و در اسلامشهر بین ۶ تا ۱۰ سانتی‌متر در یک دوره ۱۲ ساله مشاهده می‌شود (شکل۱۴).



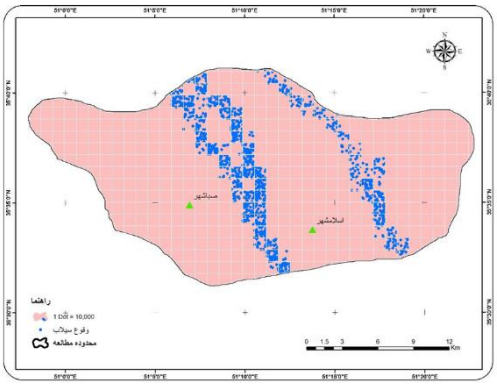
شکل (۶). نقشه معیار پراکندگی میانگین عمق آب زیرزمینی در هر شبکه دشت جنوب غربی تهران



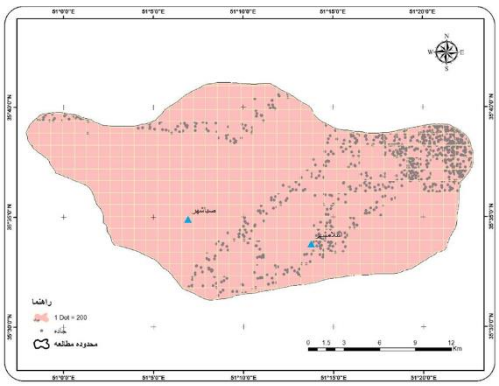
شکل(۷). نقشه معیار پراکندگی میانگین سطح آب زیرزمینی در هر شبکه دشت جنوب غربی تهران



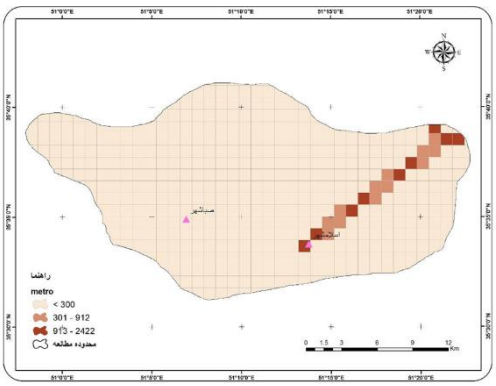
شکل(۸). نقشه معیار مسیر رودخانه در هر شبکه دشت جنوب غربی تهران



شکل(۹). نقشه معیار مسیر سیلاب در هر شبکه دشت جنوب غربی تهران

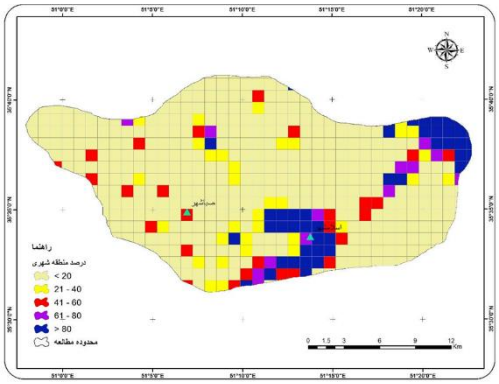


شکل(۱۰). نقشه معیار طول جاده در هر شبکه دشت جنوب غربی تهران

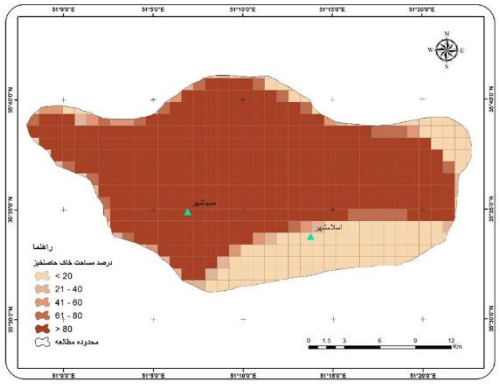


شکل(۱۱). نقشه معیار طول خط مترو در هر شبکه دشت جنوب غربی تهران

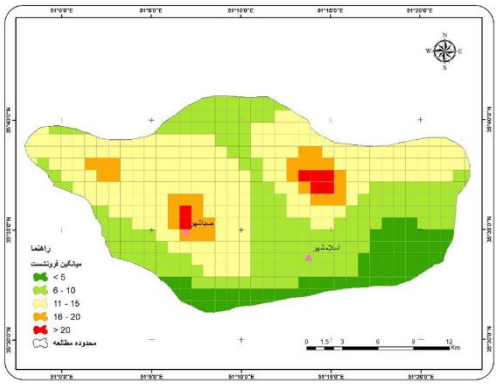
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]



شکل(۱۲). نقشه معیار درصد سکونتگاه شهری در هر شبکه دشت جنوب غربی تهران



شکل(۱۳). نقشه معیار درصد خاک حاصلخیز در هر شبکه دشت جنوب غربی تهران



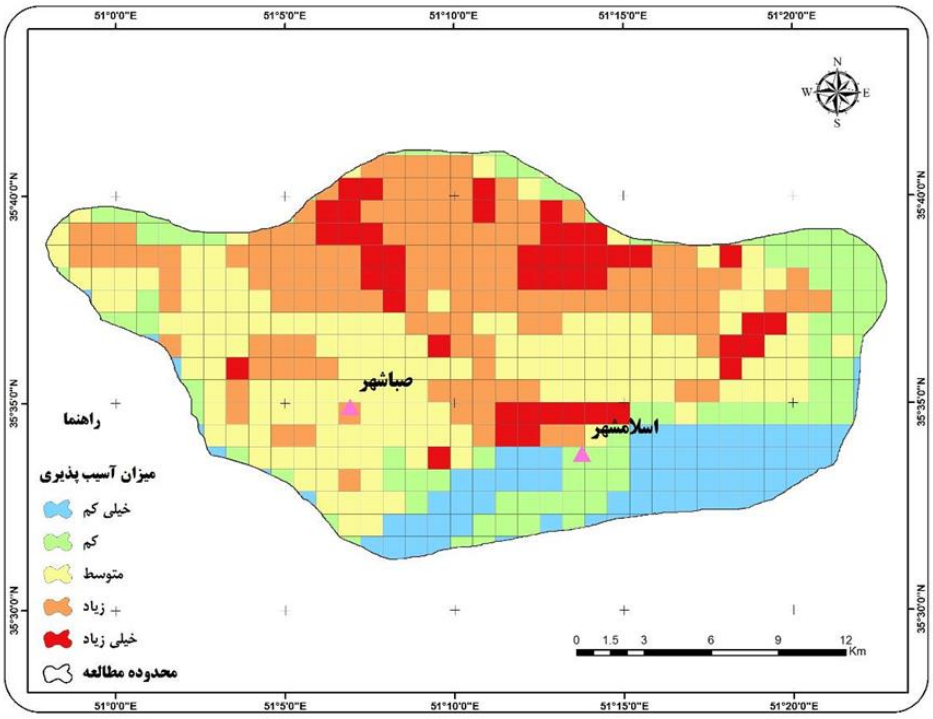
شکل(۱۴). نقشه معیار میانگین فرونشست در هر شبکه دشت جنوب غربی تهران

- **تحلیل آسیب‌پذیری ناشی از وقوع فرونشست**

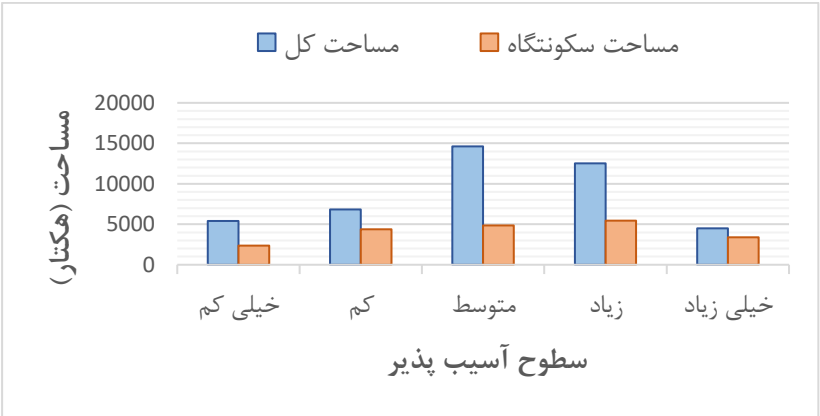
با استفاده از نقشه معیارهای تغییرات عمق و سطح آب زیرزمینی، طول رودخانه، مساحت پهنه‌های سیلابی، مجموع طول راه‌های اصلی، طول خط مترو، مساحت خاک حاصلخیز، مساحت مناطق شهری و میانگین فرونشست در یک دوره ۱۲ ساله (۱۳۹۶-۱۳۸۴) در قالب شبکه‌های یک کیلومترمربع و رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش وزن‌دهی ساده جمعی تحلیل همپوشانی انجام شد و میزان آسیب‌پذیری محیطی در اثر وقوع فرونشست مدلسازی گردید. نتایج نشان می‌دهد در منطقه مطالعاتی طبقات آسیب‌پذیری ۵ گانه شامل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد وجود دارد (شکل۱۵). به‌طورکلی پنج پهنه اصلی و چند پهنه فرعی دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد هستند که پهنه‌های اصلی در مرکز و شمال منطقه قرار دارند. علت آسیب‌پذیری خیلی زیاد وجود سکونتگاه‌های شهری با تراکم جمعیت بالا، وجود پهنه‌های سیلابی، تراکم بالای راه‌های اصلی، رودخانه و وسعت زیاد خاک‌های حاصلخیز در این شبکه‌ها است. پراکندگی طبقه با آسیب‌پذیری زیاد نشان می‌دهد که بیشتر این پهنه به‌صورت به‌هم‌پیوسته در نیمه شمالی منطقه مطالعاتی وجود دارد. همچنین تعدادی شبکه‌های ناپیوسته در غرب و شمال‌غرب منطقه دیده می‌شود. همه شرایط آسیب‌پذیری پهنه خیلی زیاد به‌جز پهنه‌های سیلابی و رودخانه‌ها در این طبقه وجود دارد. صباشهر در این پهنه قرار دارد. بیشترین مساحت سکونتگاه‌ها در طبقه با آسیب‌پذیری فرونشست زیاد (حدود ۵۴۰۰ هکتار) است. بطور کلی حدود ۱۷۰۰۰ هکتار از محدوده مطالعاتی در طبقات آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است (نمودار۱). طبقه متوسط در مرکز دشت

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

پراکنده است؛ که در پنج پهنه اصلی و تعداد کمی پهنه‌های فرعی وجود دارد. بیشترین مساحت مربوط به آسیب‌پذیری در طبقه متوسط است که ۱۵۰۰۰هکتار از محدوده مطالعاتی را شامل می‌شود. که از این مقدار حدود ۴۸۰۰ هکتار سکونتگاه‌ها در برگرفته‌است. عمده طبقه خیلی کم و کم در پهنه جنوبی منطقه مطالعاتی دیده می‌شود که علت آسیب‌پذیری خیلی کم و کم در این منطقه می‌توان به خاک غیر حاصلخیز، دور بودن از پهنه‌های سیلابی، کاهش سکونتگاه‌های شهری و تراکم کم راه‌های ارتباطی اشاره نمود. منطقه ۱۹ تهران و اسلامشهر در آسیب‌پذیری کم قرار دارد. مساحت طبقات خیلی کم و کم به ترتیب حدود ۵۴۰۰ و ۶۸۰۰ هکتار است. بطوریکه حدود ۶۷۰۰ هکتار سکونتگاه‌های شهری در طبقه خیلی کم و کم قرار دارد.



شکل(۱۵). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از فرونشست در هر شبکه دشت جنوب غربی تهران



نمودار(۱). مساحت سطوح آسیب‌پذیر، سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌های محدوده مطالعاتی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

نتیجه‌گیری

دشت‌ها به سبب دارا بودن منابع آبی و شرایط توپوگرافی مناسب، تراکم جمعیتی بالایی دارند. وقوع فرونشست در این مناطق می‌تواند تهدیدات جدی را برای محیط طبیعی، انسان و زیرساخت‌های مختلف بخصوص در مناطق شهری ایجاد کند. به‌طورکلی، اثرات فرونشست زمین در مناطق شهری در زمینه‌های مختلف اثرات زیرساختی، محیطی، اقتصادی و اجتماعی مشاهده می‌شود. با توجه به پاسخ نسبتاً طولانی‌مدت فرونشست، معمولاً هنگامی متوجه اثرات محیطی می‌شویم که باعث اختلال فعالیت‌های روزمره ما شوند. دشت تهران با توجه به استقرار کلان‌شهر تهران و سکونتگاه‌ها و شهرهای اقماری آن و وجود زیرساخت‌های مختلف از اهمیت زیادی برخوردار است و وقوع فرونشست در آن تهدیدات جدی را متوجه کلان‌شهر تهران به عنوان پایتخت کشور می‌نماید. بنابراین در این پژوهش به برآورد میزان فرونشست در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۹۶، میانگین فرونشست در بازه ۱۲ ساله، تغییرات تراز آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی پرداخته شد. به دلیل کارایی بیشتر همبستگی فضایی نسبت به همبستگی آماری در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن پراکندگی برداشت آب زیرزمینی و پدیده فرونشست از همبستگی فضایی این دو پدیده استفاده شد. از آنجایی که صرف پهنه بندی فرونشست در شناسایی اثرات فرونشست کفایت نمی‌کند با نگاه آسیب‌پذیری به شناسایی پهنه‌های فرونشست پرداختیم تا پهنه‌هایی که اولویت بالاتر و شرایط حادتری دارند مشخص شود. در این راستا محدوده مطالعه به شبکه‌های یک کیلومتر مربعی تقسیم شد همچنین اثرات محیطی فرونشست در قالب نقشه معیارهای: تغییرات سطح و عمق آب زیرزمینی، تغییرات بستر رودخانه، پهنه‌های سیلابی، خطوط حمل‌ونقل اعم از جاده‌های اصلی و شریانی و مترو، حاصلخیزی خاک و سکونتگاه‌های شهری در نظر گرفته شد. و تأثیر هر یک از نقشه معیارها در هر شبکه بررسی شد. در نهایت با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و روش ساده وزنی جمعی میزان آسیب‌پذیری در دشت جنوب غربی تهران مدلسازی شد. نتایج نشان داد میانگین فرونشست در بازه زمانی ۱۲ سال (۱۳۸۴-۱۳۹۶) منطقه مطالعاتی حدود ۹/۹ سانتی‌متر در سال است که در چهار پهنه اصلی اتفاق افتاده است. حداکثر و حداقل میزان میانگین فرونشست در بازه ۱۲ ساله به ترتیب تقریباً ۲۳/۶ و ۱۴ سانتی‌متر در سال گسترش‌یافته‌اند. تغییرات عمق آب از ۱۰ تا۹۰ متر متغیر بوده است که از جنوب به شمال محدوده مطالعاتی عمق آب افزایش داشته است. نتایج تحلیل همبستگی فضایی فرونشست زمین و تغییرات آب زیرزمینی در دشت جنوب غربی تهران مقدار R برابر با ۰/۶۱ را نشان می‌دهد. بعبارت دیگر نتایج نشان دهنده ارتباط معنی دار فرونشست با برداشت آبهای زیرزمینی دشت تهران و پایین رفتن سطح تراز است. در خصوص مقدار همبستگی فضایی دو بحث مطرح است با توجه به اینکه فرونشست زمین همزمان با برداشت آب زیرزمینی و کاهش سطح رخ نمی‌دهد و همیشه با کمی تاخیر پس از برداشت آب زیرزمینی پدیده فرونشست اتفاق می‌افتد بنابراین این زمان تاخیر در میزان همبستگی لحاظ نشده است. از طرف دیگر به نظر می رسد عواملی دیگر از جمله گسل‌های شمالی و جنوبی تهران بخصوص گسل شمال تهران و گسلهای ری و کهریزک و عملکرد آن‌ها می‌تواند به عنوان عاملی موثر در وقوع فرونشست دشت تهران نقش داشته باشند.

جهت تهیه نقشه معیارها از مدل شبکه‌ای مربعی استفاده شد. نتایج آسیب‌پذیری فرونشست در دشت جنوب غربی تهران در پنج پهنه از خیلی کم تا کم نشان داد شبکه‌های جنوبی و شرقی محدوده مطالعاتی به علت کاهش حاصلخیزی خاک اراضی کشاورزی و باغی کاهش یافته و کاهش سکونتگاه‌های شهری آسیب‌پذیری فرونشست خیلی کم و کم است. بیشتر محدوده مطالعاتی (شبکه‌های مرکزی، شمالی و غربی) در آسیب‌پذیری متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. حدود

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

۱۴۶۰۰ هکتار از محدوده مطالعاتی در آسیب‌پذیری متوسط قرار گرفته است. که به صورت پهنه ای از غرب به شرق محدوده مطالعاتی پیوستگی دارد. بیشتر زیرساخت‌های شهری در آسیب‌پذیری متوسط نسبت به فرونشست قرار گرفته اند. حدود ۱۷۰۰۰ هکتار از دشت جنوب غربی تهران در آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. که بیش از نیمی از مساحت این پهنه را سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌های شهری فراگرفته است. بنابراین پدیده فرونشست خسارات جبران‌ناپذیری را بر سکونتگاه و زیرساخت‌ها در دشت جنوب غربی به بار می‌آورد.

نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های انجام شده قبلی ازجمله (Mahmoudpour et. al., ۲۰۱۳) خصوصیات فرونشست دشت جنوب غربی تهران با برداشت آب‌های زیرزمینی در طی ۲۸ سال (۱۹۶۸-۲۰۱۲) مطابقت دارد. همچنین نتایج (Pirouzi and Eslami, ۲۰۱۷) در تحلیل فرونشست دشت‌های اطراف تهران نشان داد در برخی نقاط عوامل دیگری نیز در رخداد پدیده فرونشست دخیل هستند که در پژوهش حاضر مقدار همبستگی فضایی پدیده فرونشست و تراز آب زیرزمینی صد درصدی نبود بنابراین با پژوهش حاضر مطابقت دارد. که نیاز به پژوهش بیشتر در زمینه سایر عوامل موثر بر پدیده فرونشست در دشت جنوب غربی تهران وجود دارد. شریفی‌کیا و همکاران (۱۳۹۲)، در مناطق شهری تهران مطابقت دارد نشان داد اکثر سکونتگاه‌ها و تاسیسات در پهنه‌های پر خطر و نسبتا پر خطر قرار دارند. همچنین پژوهش کریمی و همکاران (۱۳۹۲) در منطقه ۱۸ تهران نشان داد بخش قابل توجهی از مساکن این منطقه در عرصه درگیر با پدیده نشست قرار دارد.

منابع

احمدآبادی، علی؛ و کیمیا قاسمی. ۱۳۹۵. کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله با تاکید بر روش E-VIKOR مطالعه موردی منطقه ۹ شهرداری تهران. فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، **۹**: ۱۰۳-۱۱۱.

افتخاری، مروت؛ و فاطمه عمادالدین. ۱۴۰۰. برآورد فرونشست دشت نظرآباد با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری. هشتمین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی. ژئومورفولوژی، کارکردها و ضرورتها. تهران.

حقیقت‌مهر، پریسا. ۱۳۸۹. مطالعه فرونشست سطح زمین ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی و چاه‌های نفتی به کمک تداخل‌سنجی راداری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

خورسندی آقایی، احمد؛ و محمدرضا دیبایی. ۱۳۹۶. مدلسازی فرونشست زمین، مطالعه موردی: مدلسازی فرونشست زمین بخشی از دشت تهران. کنفرانس بین المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر، تهران، https://civilica.com/doc/۷۰۸۹۳۸

رنجبر، محسن؛ و نسرین جعفری. ۱۳۸۸. بررسی عوامل مؤثّر در فرونشست زمین دشت اشتهار، فصلنامه‌ی جغرافیا، **۶**: ۱۶۶-۱۵۵.

رهنمون فر، مریم؛ محمدرضا سراجیان، احد توکلی و احد رحمتی. ۱۳۸۴. استفاده از تداخل سنجی راداری در مطالعه زلزله بم و زلزله ایزمیت در ترکیه. همایش ژئوماتیک. تهران.

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، فرونشست زمین در ایران، ۱۳۹۴.

سازمان زمین شناسی و نقشه برداری کشور، بررسی اجمالی علت وقوع فرونشست جنوب غرب تهران، ۱۳۸۳.

شریفی کیا، نعمت مال امیری و سیاوش شایان. ۱۳۹۲. سنجش میزان آسیب پذیری بافت های شهری در برابر مخاطره فرونشست زمین مطالعه موردی (بخشی از جنوب شهر تهران). جغرافیا و مخاطرات محیطی، **۲**: ۹۱-۱۰۶.

صادقی، جواد؛ و هادی حمیدیان. ۱۳۹۳. بررسی فرونشست زمین های آبرفتی ناشی از کاهش فشار در آبخوان ها و چگونگی اثرگذاری نوع آبرفت بر فرونشست زمین در دشت تهران، دومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران کرمانشاه.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]

عطایی، هوشمند؛ و فائزه زمانی پور. ۱۳۹۵. بررسی فرونشست دشت تهران. دومین کنگره ملی توسعه و ترویج مهندسی کشاورزی و علوم خاک ایران، تهران، https://civilica.com/doc/۵۲۰۶۲۱

علیجانی، بهلول. ۱۳۹۴. تحلیل فضایی. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، **۳**: ۱-۱۴.

عمادالدین، فاطمه؛ علی احمدآبادی و مرجان شـــریفی پور. ۱۴۰۰. ارزیابی توان محیطی گردشـــگری در پهنه‌های جنگلی شـــمال کشور. هشتمین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی. ژئومورفولوژی، کارکردها و ضرورتها. تهران.

کریمی، مرتضی؛ علی اصغر قنبری و شهرام امیری. ۱۳۹۲. سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیده فرونشست زمین مطالعه موردی: منطقه ۱۸ شهر تهران. برنامه‌ریزی فضایی، **۳**: ۳۷-۵۵.

مبتکرسرایی، محمد. ۱۳۹۱. بررسی و تعیین پارامترهای تاثیرگذار برفرونشست زمین، مطالعه مورد حوضه فرونشستی دشت تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تهران، پردیس علوم، دانشکده زمین شناسی.

مرادی، آیدین؛ سمیه عمادالدین، صالح آرخ و خلیل رضائی. ۱۳۹۹. تحلیل فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، اطلاعات چاه‌های ژئوتکنیکی و پیزومتری. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، **۷**: ۱۵۳-۱۷۶.

مقصودی، یاسر؛ رضا امانی و حسن احمدی. ۱۳۹۸. بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غربی تهران با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و تکنیک تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنش‌گرهای دائمی. تحقیقات منابع آب ایران، **۱۵**: ۲۹۹-۳۱۳.

منافی آذر، علی؛ ماشااله خامه چیان و عطاله ندیری. ۱۳۹۷. مقایسه آسیب‌پذیری فرونشست آبخوان دشت جنوب غربی تهران با مدل وزن‌دهی ساده (مدل ALPRIFT) و الگوریتم ژنتیک. علوم زمین خوارزمی، **۴**: ۱۹۹-۲۱۲.

ABIDIN, Hasanuddin Z.; H. ANDREAS, I. GUMILAR, T. P. SIDIQ, and M. GAMAL. ۲۰۱۵. Environmental Impacts of Land Subsidence in Urban Areas of Indonesia. FIG Working Week, ۱۷-۲۱.

Barrett, D.J.; C.A. Couch, D.J. Metcalfe, L. Lytton, D.P. Adhikary, and R.K. Schmidt. ۲۰۱۳. Methodology for Bioregional Assessments of the Impacts of Coal Seam Gas and Coal Mining Development on Water Resources. A report prepared for the Independent Expert Scientific Committee (IESC) on Coal Seam Gas and Large Coal Mining Development through the Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities (SEWPaC).

Bucx, T. H. M.; C. J. M. van Ruiten, G. Erkens, and G. de Lange. ۲۰۱۵. An integrated assessment framework for land subsidence in delta cities. Proc. IAHS, **۳۷۲**: ٤٨٥-٤٩١.

d'Angremond, K.; and J.P. van de Water. ۲۰۱۲. Mining activities in a coastal zone. Effects and remedial measures in the Netherlands. Proc. of COPEDEC, ۱۰۸۵-۱۰۹٦.

Mahmoudpour, Masoud.; M. Khamechiyan, M.R. Nikudel, M.R. Ghassemi. ۲۰۱۳. Characterization of regional land subsidence induced by grownd‌water withdrawals in Tehran, Iran. Geopersia, **۲**: ٤٩-٦٢.

Hoffmann, J.; D.L. Galloway, and H.A. Zebker. ۲۰۰۳. Inverse modeling of interbed storage parameters using land subsidence observations, Antelope Valley, California. Water Resources research, **۲**: ۱۰۳۱, doi:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰۱WR۰۰۱۲۵۲.

Minderhoud, P.S.J.; L. Coumou, L.E. Erban, H. Middelkoop, E. Stouthamer, and E.A. Addink. ۲۰۱۸. The relation between land use and subsidence in the Vietnamese Mekong delta. Science of the Total Environment, **٦٣٤**: ٧١٥-٧٢٦.

MOE, Idham Riyando.; S. Kure, N.F. JANURIYADI, M. FARID, K. UDO, S. KAZAMA, and S. KOSHIMURA. ۲۰۱٦. Effect of land subsidence on flood inundation in Jakarta, Indonesia. Environmental Research, **۷۲**: ۲۸۳-۲۸۹.

USGS, Aquifer Compaction due to Groundwater Pumping by Land subsidence in California. ۲۰۱۸.

O'Sullivan, David.; and David Unwin. ۲۰۱۰. Geographic Information Analysis, ۲nd Edition.

Pirouzi, Arash.; and A. Eslami. ۲۰۱۷. Ground subsidence in plains around Tehran: site survey, records compilation and analysis. Geo-Engineering, **۳۰**: ۱-۲۱.

Steve Blodgett, M.S.; and J.R. Kuipers, P.E. ۲۰۰۲. Technical Report on Underground Hard-Rock Mining: Subsidence and Hydrologic Environmental Impacts.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.6.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.85]