

تحلیل جامع فرونشست زمین در ایران: مروری سیستماتیک به وضعیت فعلی

عاطفه حصارکی‌زاد - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
مجتبی یمانی* - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
ابوالقاسم گورابی - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۱/۲۴ تأیید نهایی: ۱۴۰۳/۰۸/۱۵

چکیده

یکی از مخاطرات بسیار مهم که دشتهای ایران را در معرض قرار داده است مسئله فرونشست زمین است و یکی از وظایف چالش برانگیز دولت‌ها جلوگیری از آن برای بهره‌برداری و توسعه دشت‌ها در آینده است. هدف پژوهش حاضر بررسی و تحلیل مروری این مسئله با استفاده از روش مرور سیستماتیک در مطالعات حوزه فرونشست زمین در ایران است. پژوهشگران با استفاده از واژه «فرونشست» در پایگاه‌های اطلاعاتی SID و Magiran مطالعات مربوط به فرونشست زمین در ایران را جستجو کرده‌اند. هیچ محدودیتی در تاریخ انتشار پژوهش‌ها در نظر گرفته نشده است. به این معنی که تمام مقالات منتشر شده تا فروردین ۱۴۰۲ برای ورود به مرور سیستماتیک در نظر گرفته شدند. چارچوب PRISMA برای جستجو و انتخاب ادبیات استفاده شد و در نهایت ۷۶ مطالعه متمرکز در حوزه ۲۱ استان ایران برای مرور سیستماتیک انتخاب شده است. نتایج نشان داد که دشت تهران با میزان فرونشست حدود ۴۳ سانتیمتر (۲۰۱۵-۲۰۱۷)، دشت کرج با ۳۰ سانتیمتر (۲۰۲۱-۲۰۱۶)، دشت دیندارلو با ۳۰ سانتیمتر (۱۹۹۲-۲۰۱۴)، نوق و بهرمان با ۳۰ سانتیمتر (۲۰۱۰-۲۰۰۵) و دشت قره‌باغ با ۲۸/۶ سانتیمتر (۱۹۹۶-۲۰۰۸)، در سال بیشترین مقدار فرونشست را در مناطق مختلف ایران تجربه کرده‌اند. نتایج این مطالعه می‌تواند برای جامعه اجرایی به ویژه در بخش دولتی مانند وزارتخانه‌ها و سازمان‌های محیط زیست و جامعه دانشگاهی و پژوهشگاهی کار برد داشته باشد.

واژگان کلیدی: دشت‌های ایران، فرونشست زمین، مرور سیستماتیک، چارچوب PRISMA

مقدمه

در حال حاضر یکی از دغدغه‌های مشترک همه کشورها مدیریت موثر مخاطرات برای دستیابی به توسعه پایدار است، زیرا خسارات ناشی از وقوع مخاطرات تلاش‌ها برای نزدیک شدن به پایداری را تضعیف می‌کند (دفتر سازمان ملل متحد برای کاهش خطر بلایا^۱، ۲۰۱۵). در سراسر جهان مخاطرات طبیعی پیامدهای منفی بسیاری در پی دارند، یکی از انواع مخاطراتی که در طول سالیان اخیر در سراسر جهان چالش‌های بسیاری به وجود آورده است فرونشست زمین است. در مجموع می‌توان گفت که تعریف مشخصی در سراسر جهان برای فرونشست زمین وجود دارد. به طوریکه فرونشست زمین^۲ نشست ملایم یا فرورفتن سریع بخش‌های مجزا از سطح زمین به دلیل تجمع رسوبات و در نتیجه حرکت زیرسطحی مواد زمین در نتیجه افزایش تنش موثر است (گالووی و بربی^۳، ۲۰۱۱؛ ما و همکاران^۴، ۲۰۱۸). در یک تعریف دیگر آمده است که فرونشست عبارت است از فرو رفتن تدریجی یا ناگهانی سطح زمین (هوو و همکاران^۵، ۲۰۰۴؛ هرارا-گارسیا و همکاران^۶، ۲۰۲۱؛ هوو و همکاران^۷، ۲۰۲۲) به دلیل تجمع رسوبات که باعث حرکت زیرسطحی مواد زمین در نتیجه افزایش تنش موثر می‌شود (بوفاردی و روبرتی^۸، ۲۰۲۳). فرونشست زمین می‌تواند محرک‌های طبیعی مختلفی از جمله زمین ساخت، تنظیم ایزواستاتیک، و تنوع مکانی و زمانی فشردگی رسوب داشته باشد (بوفاردی و روبرتی، ۲۰۲۳). همچنین رشد سریع جمعیت (ژانگ و همکاران^۹، ۲۰۲۳) برداشت آب زیرزمینی (گالووی و بوربی^{۱۰}، ۲۰۱۱) یا معدن (جونز و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۶) پدیده فرونشست زمین را تشدید می‌کند که می‌تواند منجر به ترک خوردگی سطح، نشست ناهموار، کج شدن ساختمان‌ها و آسیب به سایر زیرساخت‌های شهری شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۳). خسارات ناشی از فرونشست زمین آهسته و پایدار است و منجر به مشکلات زیست محیطی جبران‌ناپذیر (هان و همکاران^{۱۲}، ۲۰۲۳) و در نتیجه به زندگی انسان شود (استودمر و همکاران^{۱۳}، ۲۰۲۰؛ بوفاردی و روبرتی، ۲۰۲۳). علاوه بر این، فرونشست زمین می‌تواند منجر به آسیب جدی به زیرساخت‌های شهری شود که مستقیماً بر برنامه ریزی و توسعه شهری، کاربری زمین و چیدمان تأثیر می‌گذارد و زندگی مردم را به طور جدی تهدید می‌کند (داباس و همکاران^{۱۴}، ۲۰۲۲؛ دایو و همکاران^{۱۵}، ۲۰۱۹؛ سولارسکی^{۱۶}، ۲۰۱۳). بنابراین پیش و تحلیل دقیق فرونشست زمین برای ارزیابی خطر و ارزیابی ریسک از اهمیت بالایی برخوردار است. امروزه، نواحی تحت تأثیر فرونشست زمین از دیدگاه‌های اجتماعی-اقتصادی، زیست محیطی و امنیتی بسیار نگران‌کننده است (گمبولاتی و تیتینی^{۱۷}، ۲۰۱۵؛ خو و همکاران^{۱۸}، ۲۰۱۲). فرونشست زمین در بیش از ۱۵۰ کشور اتفاق افتاده است (هرارا-)

¹ - United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR)

² - Land subsidence

³ - Galloway and Burbey

⁴ - Ma et al

⁵ - Hu et al

⁶ - Herrera-García et al

⁷ - Hu et al

⁸ - Buffardi & Ruberti

⁹ - Zhang et al

¹⁰ - Galloway & Burbey

¹¹ - Jones et al

¹² - Han et al

¹³ - Stouthamer et al

¹⁴ - Dobos et al

¹⁵ - Diao et al

¹⁶ - Solarski

¹⁷ - Gambolati and Teatini

¹⁸ - Xu et al

گارسیا و همکاران، ۲۰۲۱؛ هوو و همکاران، ۲۰۲۲). این مناطق نه تنها شامل حوضه کالیفرنیا (چاسارد و فار^۱، ۲۰۱۹؛ جینی و همکاران^۲، ۲۰۱۹؛ هوفمان و همکاران^۳، ۲۰۰۳؛ ماری و لوهمان^۴، ۲۰۱۸)، حوضه مکزیک (کبرال-کانو و همکاران^۵، ۲۰۱۴؛ کستلازی و همکاران^۶، ۲۰۱۶؛ سیگنا و تاپت^۷، ۲۰۲۱)، حوضه ایران (متق و همکاران^۸، ۲۰۱۷؛ حقیقی و متق^۹، ۲۰۱۹)، اندونزی (چاسارد و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۳) و مصر (هالایو و همکاران^{۱۱}، ۲۰۲۲) هستند، بلکه شامل دشت چین شمال^{۱۲} (وو و همکاران^{۱۳}، ۲۰۰۸؛ گانگ و همکاران^{۱۴}، ۲۰۱۸؛ شی و همکاران^{۱۵}، ۲۰۲۰؛ فنگ و همکاران^{۱۶}، ۲۰۱۷؛ گواو و همکاران^{۱۷}، ۲۰۱۵) و حوضه فنوی^{۱۸} (گواو و همکاران، ۲۰۱۵؛ کیو و همکاران^{۱۹}، ۲۰۲۰) نیز می شوند. به خصوص در شهرهای بزرگ، مانند پکن (بای و همکاران^{۲۰}، ۲۰۲۲؛ چن و همکاران^{۲۱}، ۲۰۲۰)، شانگهای^{۲۲} (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵)، سوژو^{۲۳} (شی و همکاران^{۲۴}، ۲۰۲۱)، ووهان^{۲۵} (هان و همکاران، ۲۰۲۰) و شیان^{۲۶} (لی و همکاران^{۲۷}، ۲۰۲۳)، فرونشست زمین شدیدتر است. البته اقداماتی در راستای جلوگیری از فرونشست زمین در سراسر جهان انجام شده است. به عنوان مثال برای جلوگیری از فرونشست زمین در شانگهای چین، تزریق آب رودخانه از طریق چاه ها برای تغذیه آبخوان های اصلی در سال ۱۹۶۴ تا سال ۱۹۶۶، آغاز و شارژ مصنوعی آبخوان ها در سال ۱۹۶۶ شروع شد و در سال ۲۰۰۵، شهرداری شانگهای برنامه ریزی کرد تا برداشت سالانه آب زیرزمینی را تا سال ۲۰۱۰ به میزان ۵۰ درصد کاهش دهد و کل تغذیه مصنوعی سالانه را ۲۵ درصد افزایش دهد (ژانگ و وی^{۲۸}، ۲۰۰۵). ژانگ^{۲۹} و همکاران (۲۰۱۵) اشاره کردند که شارژ مصنوعی و کاهش پمپاژ سفره های آب زیر زمینی دو اقدام موثر برای کنترل فرونشست زمین در شانگهای چین است. در نتیجه این اقدامات، فرونشست زمین در اکثر نقاط شانگهای متوقف شده است و بالا آمدن زمین در برخی از مناطق مشاهده شده است.

- 1 - Chaussard & Farr
- 2 - Jeanne et al
- 3 - Hoffmann et al
- 4 - Murray & Lohman
- 5 - Cabral-Cano et al
- 6 - Castellazzi et al
- 7 - Cigna & Tapete
- 8 - Motagh et al
- 9 - Haghighi, & Motagh
- 10 - Chaussard et al
- 11 - Halipu et al
- 12 - North China Plain
- 13 - Wu et al
- 14 - Gong et al
- 15 - Shi et al
- 16 - Feng et al
- 17 - Guo et al
- 18 - Fenwei Basin
- 19 - Qu et al
- 20 - Bai et al.
- 21 - Chen et al
- 22 - Shanghai
- 23 - Suzhou
- 24 - Shi et al
- 25 - Wuhan
- 26 - Xi'an
- 27 - Li et al
- 28 - Zhang and Wei
- 29 - Zhang

همانطور که ذکر شد، در سراسر جهان فرونشست یک خطر زمینی ناشی از فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی است و نیاز به بررسی دقیق دارد (لیو و همکاران^۱، ۲۰۱۷). ایران یکی از مناطق پرمخاطره جهان است که هر ساله مخاطرات بسیاری در آن رخ می‌دهد (بختیاری، ۱۳۹۳؛ فلاح علی آبادی و همکاران، ۱۳۹۴). یکی از مخاطراتی که با توجه به تغییرات اقلیمی و ازدیاد جمعیت در مناطق دشتی رخ می‌دهد، فرونشست زمین است. گزارش‌ها حاکی از آن است که ۵۰ درصد از دشت‌های ایران (۳۰۰ دشت) در خطر فرونشست قرار دارند (اسدی پارسا، ۱۳۹۴؛ صفاری و همکاران، ۱۳۹۵) و مشکلات بسیاری برای مناطق کشاورزی، مسکونی و مسیرهای ارتباطی به وجود آورده است (حقیقت مهر، ۱۳۸۹؛ سعادت فر، ۱۳۹۲؛ شریفی کیا، ۱۳۹۱؛ معتق و همکاران، ۱۳۹۱). اگرچه پیامدهای ناشی از فرونشست زمین همانند زلزله و سیل به وضوح نمایان نیست با این حال می‌توان اظهار داشت که پیامدهای ناشی از فرونشست در بلندمدت بیشتر و حساس‌تر است (عثمان اوغلو و همکاران^۲، ۲۰۱۱). برای مثال می‌توان به تخریب سیستم‌های آبیاری، خاک‌های کشاورزی، خسارت به چاه‌ها و تغییر در هیدرولوژی مناطق دشتی دارای فرونشست اشاره کرد (احمدی، ۱۳۹۴).

در سال‌های گذشته در ایران به موضوع فرونشست زمین توجه شده است؛ به‌طوری‌که پژوهش‌های بسیاری در این راستا منتشر شده است. بررسی اولیه پژوهش‌های انجام‌شده این زمینه، نشان دهنده پراکندگی و ناهم‌سویی آن‌ها است. اهمیت موضوع فرونشست زمین و پژوهش‌های پراکنده فراوان در این حوزه، نویسندگان را بر آن داشت که با استفاده از رویکرد مرور سیستماتیک صورت‌بندی منظمی از این پژوهش‌ها ارائه دهند. روش مرور سیستماتیک با جمع‌آوری یافته‌های پژوهشی از مطالعات مختلف در حوزه‌ای خاص، درصد ترکیب و یکپارچه‌سازی آن‌ها است تا از این طریق بتواند یافته‌های جدیدی را ارائه دهد (مرادپور و همکاران، ۱۴۰۱؛ کرمانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ شفیعا و همکاران، ۱۳۹۲؛ خلعتبری، ۱۳۸۷)؛ بنابراین هدف اصلی این مطالعه، تحلیل جامع وضعیت فرونشست زمین در ایران با استفاده از رویکرد مرور سیستماتیک است. رویکرد مرور سیستماتیک، یک روش پژوهشی است که به کاوش و تجزیه و تحلیل گسترده منابع موجود در زمینه مورد مطالعه می‌پردازد و نتایجی قابل اعتماد ارائه می‌دهد. با استفاده از این روش، می‌توان به بررسی دقیق و جامعی از فرونشست زمین در ایران پرداخت و الگوها و روندهای آن را شناسایی کرد.

روش تحقیق

هدف اصلی این پژوهش، تحلیل جامع از وضعیت فرونشست زمین در ایران است. در همین راستا در مطالعه حاضر برای تعیین وضعیت فرونشست زمین در ایران، یک بررسی سیستماتیک انجام‌شده است. مرور سیستماتیک^۳ یک ابزار ضروری برای ارائه شواهد در یک تکنیک دقیق و قابل اعتماد است (لیبراتی و همکاران^۴، ۲۰۰۹). بنابراین از این روش می‌توان برای شناخت جامع وضعیت فرونشست زمین استفاده کرد. ادبیات این مطالعه بر اساس چارچوب پریسما^۵ انتخاب شده است (شکل ۱). چارچوب پریسما یک روش تایید شده برای هدایت مرورهای سیستماتیک ادبیات دانشگاهی است (مرادپور و همکاران^۶، ۲۰۲۲). مرور سیستماتیک ادبیات پژوهش شامل چهار مرحله است (ران و همکاران^۷، ۲۰۲۲):

^۱ - Liu et al

^۲ - Osmanoglu et al

^۳ - Systematic Reviews

^۴ - Liberati et al

^۵ - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)

^۶ - Moradpour et al

^۷ - Ran et al

مرحله ۱- شناسایی: در این مرحله کلیدواژه‌های «فرونشست» در پایگاه‌های اس.آی.دی و مگ ایران جستجو شد. محدودیتی برای تاریخ انتشار مقاله‌ها وجود نداشت، بنابراین مقالات منتشرشده تا ۱۴۰۲/۰۲/۰۱ برای ورود به مرور سیستماتیک در نظر گرفته شدند. نتایج جستجو نشان‌دهنده ۲۵۱ مطالعه مرتبط با فرونشست زمین بود.

مرحله ۲- غربالگری: برای اینکه مطالعات یافت شده در تجزیه و تحلیل قرار بگیرند، لازم بود معیارهای زیر را داشته باشند:

۱) مطالعه باید میزان فرونشست را مشخص کرده باشد.

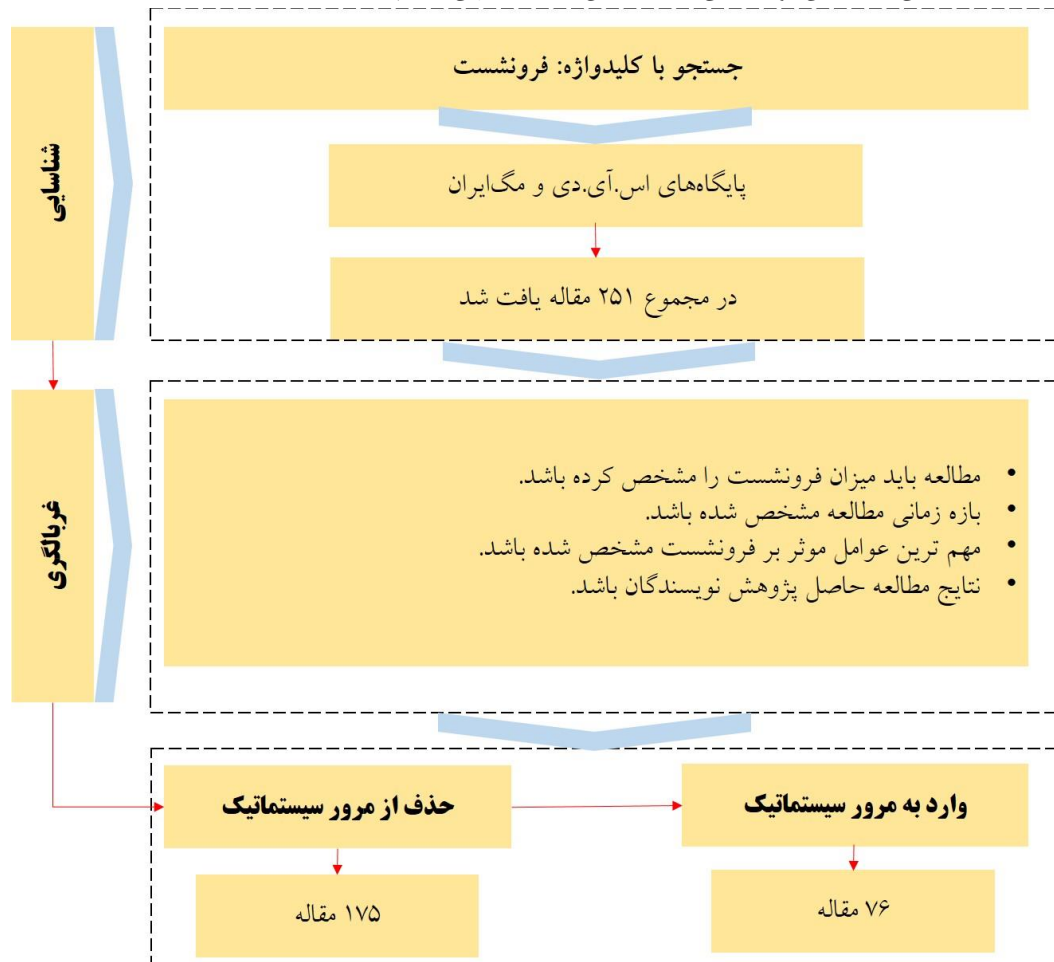
۲) بازه زمانی مطالعه مشخص شده باشد.

۳) مهم‌ترین عوامل موثر بر فرونشست مشخص شده باشد.

۴) نتایج مطالعه حاصل پژوهش نویسندگان باشد.

مرحله ۳- بررسی صلاحیت: در این مرحله متن کامل مقالات خوانده شد. ما به مقالاتی نیاز داشتیم که وضعیت فرونشست زمین را به وضوح تشریح کنند. بر اساس معیارهای ۱، ۲ و ۳ در مرحله دوم، ۱۶۸ پژوهش حذف شد.

مرحله ۴ - مرحله گنجاندن: پس از خواندن مجدد مقالات، مطالعاتی که حاصل پژوهش نویسندگان مقاله نبود (۷ مقاله) حذف شدند. در نهایت، ۷۶ مقاله که با همه معیارها در نظر گرفته شده مطابقت داشتند، انتخاب شد. بررسی اولیه مقالات انتخاب شده نشان‌دهنده این بود که آن‌ها در مناطق مختلف ایران انجام شده‌اند.



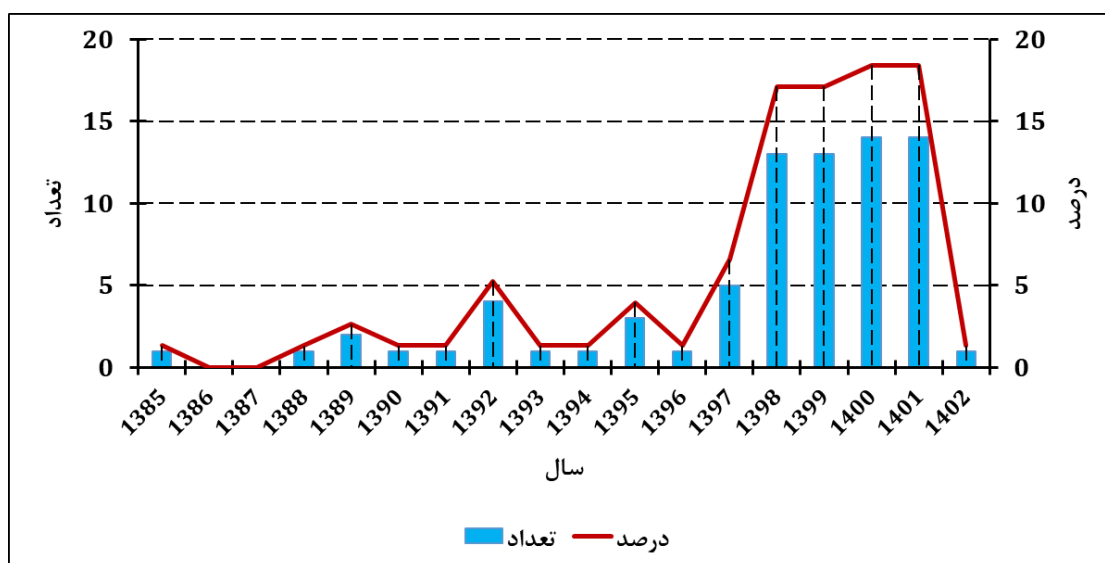
شکل ۱. فرآیند پریسما برای ورود مقاله‌ها به مرور سیستماتیک (ران و همکاران، ۲۰۲۲)

پس از انتخاب مقاله‌ها اقدام به تحلیل آنها شد. مرور سیستماتیک برای نیل به اهداف از تحلیل آماری استفاده می‌کند (مرادپور و همکاران، ۱۴۰۰). چنین مروری امکان تعیین شکاف بین پژوهش و عمل را فراهم می‌کند و نوعی تلخیص هستند از نتایج حاصل از متون پژوهشی ارائه می‌دهد (کوفوگیاناکیس^۱، ۲۰۱۲). تحلیل مقاله‌ها در چندین سطح شامل «سال انتشار، روش تحقیق، عنوان مقاله، توزیع فضایی مطالعات در ایران و وضعیت فرونشست زمین به تفکیک استان‌های کشور» انجام شده است. در ادامه نتایج مرور سیستماتیک مطالعات منتخب آورده شده است.

بحث و یافته‌ها

مرور سیستماتیک مطالعات منتخب بر اساس سال انتشار

همان‌طور که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد، ۷۶ مقاله به فراتحلیل وارد شد. این مقاله‌ها، در بازه زمانی ۱۳۸۵ الی ۱۴۰۲ قرار داشتند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود از سال ۱۳۹۷ به بعد است که مطالعات بیشتری در ارتباط با فرونشست زمین^۲ منتشر می‌شود (شکل ۲). شاید یکی از دلایلی که باعث توجه به فرونشست زمین از سال ۱۳۹۷ به بعد شده استفاده از تصاویر راداری برای تعیین دقیق میزان فرونشست زمین باشد.



شکل ۲. مرور سیستماتیک پژوهش‌های منتخب بر اساس سال انتشار

مرور سیستماتیک روش‌شناسی مطالعات منتخب

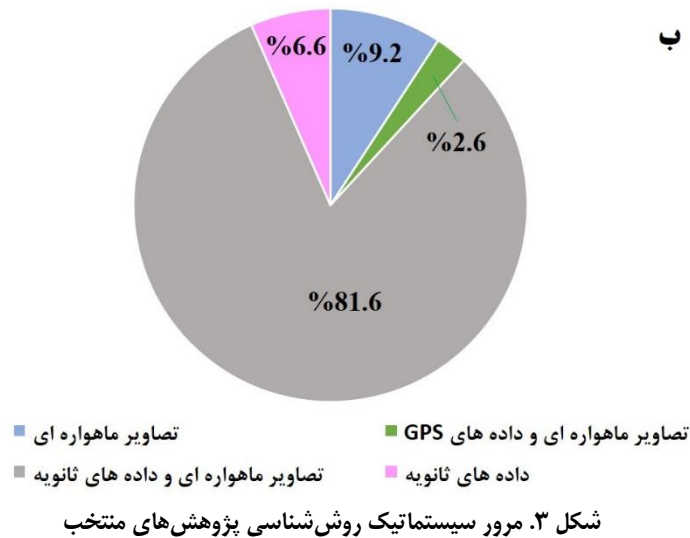
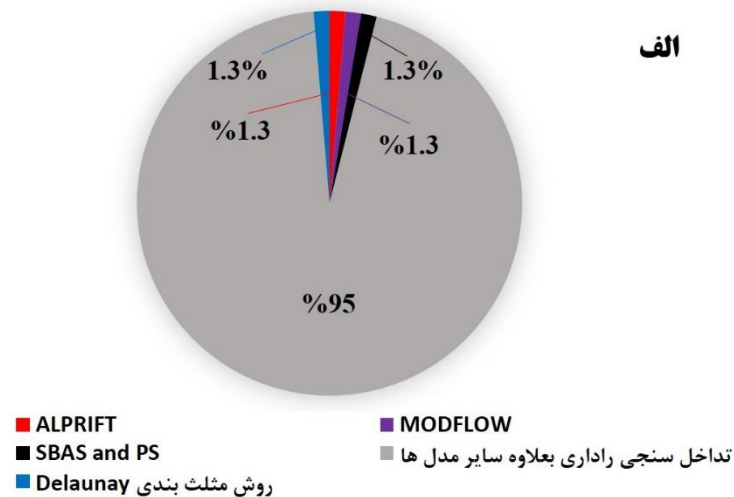
در این بخش اقدام به کالبدشکافی روش‌شناسی پژوهش‌ها شده است.

ابزارهای استفاده شده: ۹۵ درصد مطالعات از تداخل سنجی راداری بعلاوه سایر تکنیک‌ها (AHP, Envisat, GWR,) استفاده کرده‌اند. همچنین، در سایر مطالعات از ابزارهای ALPRIFT, MODFLOW, SBAS and PS و روش مثلث بندی Delaunay هر کدام با ۱/۳ درصد استفاده شده است (شکل ۳ الف).

^۱ - Koufogiannakis

^۲ - البته مطالعاتی که منطبق با معیارهای مطالعه حاضر باشد.

جمع‌آوری اطلاعات: ۸۱/۶ درصد مطالعات از تصاویر ماهواره ای و داده‌های ثانویه، ۹/۲ درصد فقط از تصاویر ماهواره‌ای، ۶/۶ درصد فقط از داده‌های ثانویه و ۲/۶ درصد از تصاویر ماهواره‌ای و GPS استفاده کرده‌اند (شکل ۳ ب).



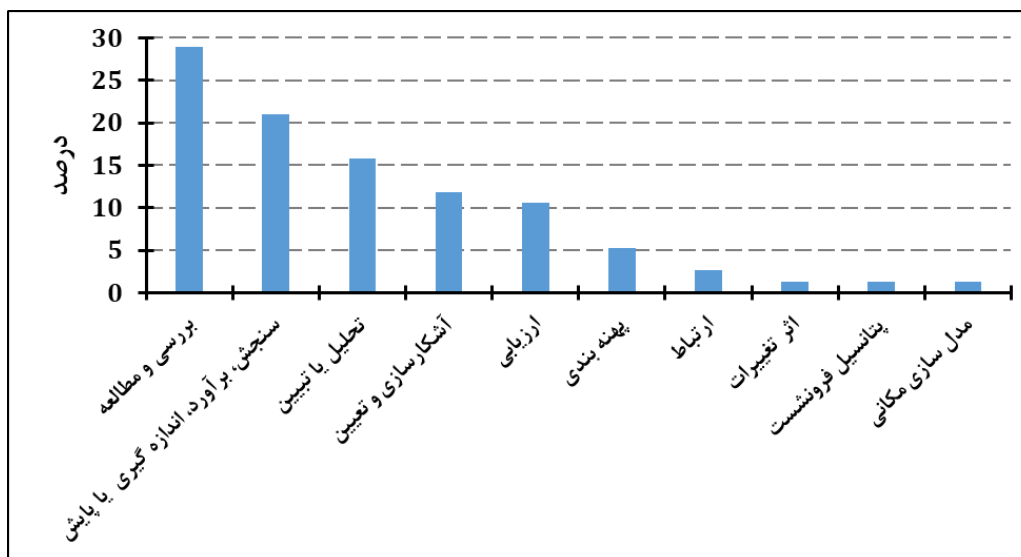
مرور سیستماتیک عنوان پژوهش‌ها

نتایج حاصل از مرور سیستماتیک مقاله‌های چاپ‌شده در حوزه فرونشست در ایران نشان می‌دهد که در عنوان پژوهش‌ها بیشتر از عبارات‌های «بررسی و مطالعه فرونشست»، «سنجش، برآورد، اندازه‌گیری یا پایش فرونشست»، «تحلیل و تبیین فرونشست»، «آشکارسازی و تعیین فرونشست» و «ارزیابی فرونشست» استفاده شده است. در حالیکه کمتر به «مدلسازی مکانی فرونشست»، «پتانسیل فرونشست»، «اثر تغییرات فرونشست»، «ارتباط بین فرونشست با سایر عوامل مانند فعالیت‌های انسانی»، و «پهنه بندی فرونشست» پرداخته شده است (شکل ۴).

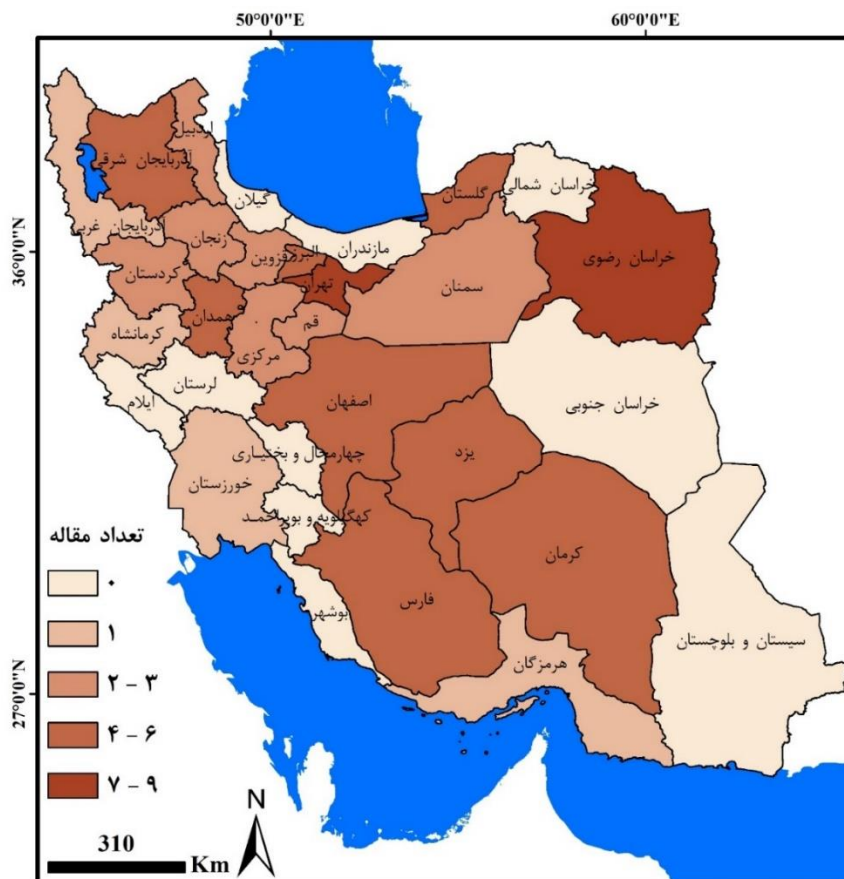
مرور سیستماتیک توزیع فضایی مطالعات منتخب در ایران

بررسی پراکندگی تعداد مطالعات انجام‌شده در نقشه استان‌های ایران نشان می‌دهد که بیشترین مطالعات مربوط به استان‌های تهران (۹ پژوهش) و خراسان رضوی (۸ پژوهش) است. در مرتبه بعدی استان‌های البرز، فارس و یزد (هر کدام با ۶

پژوهش) قرار دارند. همچنین در استان‌های گیلان، مازندران، خراسان جنوبی، لرستان، ایلام، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد پژوهشی با معیارهای موردنظر در این مطالعه یافت نشد (شکل ۵).



شکل ۴. مرور سیستماتیک عنوان پژوهش‌ها



شکل ۵. مرور سیستماتیک توزیع فضایی مطالعات منتخب در ایران

وضعیت فرونشست زمین در ایران

در این بخش نتایج ارائه شده توسط پژوهش‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار خواهد گرفت. برای اینکه بتوان یک دید کلی از فرونشست در قسمت‌های مختلف ایران به دست آورد، ابتدا پژوهش‌ها را به تفکیک استان مورد مطالعه طبقه‌بندی شده و سپس اقدام به مرور سیستماتیک شده است.

استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، زنجان، کردستان و کرمانشاه

بر اساس یک مرور سیستماتیک از نتایج پژوهش‌ها، مشاهده شد که نرخ فرونشست زمین در مناطق مختلف استان‌ها و بازه‌های زمانی متغیر است. به عنوان مثال، در آذرشهر ۱/۲ سانتیمتر از سال، در دشت مرند ۲ سانتیمتر در سال، در دشت سلماس ۱۱ سانتیمتر در سال ۲۰۱۹، در دشت اردبیل ۴/۴ سانتیمتر در سال، دشت مشکین شهر ۹/۳۵ سانتیمتر در سال، خرمدره ۴ سانتیمتر در سال، ابهر ۳/۴ سانتیمتر در سال، در دشت قروه به طور میانگین ۱۱ سانتیمتر در سال و در ماهیدشت ۳ سانتی متر در سال بوده است. در ضمن دو مطالعه در بازه‌های زمانی متفاوت در دشت هریس انجام شده است. نتایج این دو با هم تفاوت معنی داری دارد؛ به طوریکه پژوهش اول که در بازه زمانی ۲۰۰۶-۲۰۱۰ انجام شده میزان فرونشست را ۱/۲ سانتی متر در سال گزارش کرده است. در حالیکه پژوهش دوم که در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۹ انجام شده میزان فرونشست را ۱۵ سانتی متر در سال ذکر کرده است. این نتایج متفاوت احتمالاً به این دلیل است که در سال‌های اخیر با توجه به ازدیاد جمعیت، گرمایش زمین و در مقابل آن نیاز به آب بیشتر و برداشت آبهای زیر زمینی، فرونشست زمین افزایش یافته است. نکته برجسته مطالعات صورت گرفته در استان آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، زنجان، کردستان و کرمانشاه این بود که «برداشت بی رویه آب‌های زیرزمینی» مهم‌ترین عامل موثر بر فرونشست زمین است (جدول ۱).

جدول شماره ۱. نتایج پژوهش‌های انجام شده در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، زنجان، کردستان و کرمانشاه

استان	دشت/شهر	بازه زمانی	میزان فرونشست	مهم‌ترین عامل موثر بر فرونشست
آذربایجان شرقی	هریس	۲۰۰۹-۲۰۱۰	۱/۲ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	هریس	۲۰۱۶-۲۰۱۹	۱۵ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	آذرشهر	۲۰۱۵-۲۰۲۰	۱/۲ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	مرند	۲۰۱۷-۲۰۱۸	۲ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
آذربایجان غربی	سلماس	۲۰۱۹	۱۱ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
اردبیل	اردبیل	۲۰۲۰-۲۰۱۶	۴/۴ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	مشکین شهر	۲۰۲۰-۲۰۱۹	۹/۳۵ سانتی در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
زنجان	خرمدره	۲۰۱۰-۲۰۰۳	۴ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	خرمدره	۲۰۱۷-۲۰۱۴	۴ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	ابهر	۲۰۰۹-۲۰۱۹	۳/۴ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
کردستان	قروه	۲۰۱۷-۲۰۱۶	۱۱ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
کرمانشاه	دشت ماهیدشت	۲۰۲۰-۲۰۱۵	۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی

استان‌های البرز، قزوین، مرکزی و قم

مرور سیستماتیک نتایج پژوهش نشان داد که میزان فرونشست در دشت‌های هشتگرد ۴/۷ سانتی متر در سال، قزوین ۳ سانتی متر، قم ۳ سانتی متر در سال، علی‌آباد ۱۶ سانتی متر در سال و شازند ۶ سانتی متر در سال بوده است. دو مطالعه در بازه‌های زمانی متفاوت در دشت کرج انجام شده است. نتایج این دو با هم تفاوت معنی داری دارد؛ به طوریکه یک پژوهش که در بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۱۴ انجام شده میزان فرونشست را ۱۷/۵ سانتی متر در سال گزارش کرده است. در

حالیکه دومی که در بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۱۶ انجام شده میزان فرورنشست را ۳۰ سانتی متر در سال ذکر کرده است. همچنین دو مطالعه در سطح شهرهای شهر همدان - بهار و اراک به طور جداگانه انجام شده است که به ترتیب میزان فرورنشست ۴/۷ و ۱ سانتی متر گزارش شده است. مهم ترین نکته این مطالعات این بود که در اکثر آنها «برداشت بی رویه آب‌های زیرزمینی» مهم ترین عامل موثر بر فرورنشست زمین گزارش شده بود (جدول ۲).

جدول شماره ۲. نتایج پژوهش‌های انجام شده در استان‌های البرز، قزوین، مرکزی و قم

استان	دشت/شهر	بازه زمانی	میزان فرورنشست	مهم ترین عامل موثر بر فرورنشست
البرز	دشت هشتگرد	۲۰۰۸	۴/۷ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	دشت کرج	۲۰۲۱-۲۰۱۶	۳۰ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	دشت کرج	۲۰۲۱-۲۰۱۴	۱۷/۵ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
قزوین	دشت قزوین	۲۰۱۰-۲۰۰۳	۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	دشت قزوین	۲۰۱۷-۲۰۰۳	۳/۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
قم	دشت قم	۲۰۱۰-۲۰۰۳	۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	دشت علی آباد	۲۰۱۶-۲۰۱۵	۱۶ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
مرکزی	دشت شازند	۲۰۱۷-۲۰۱۶	۶ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و وزن تاسیسات و بناها
	شهر اراک	۲۰۰۷-۲۰۰۳	۱ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و عوامل تکتونیکی

استان‌های خراسان رضوی، گلستان و سمنان

مرور سیستماتیک نتایج پژوهش نشان داد که میزان فرورنشست در دشت جویین ۶/۴ سانتی متر در سال، سبزوار ۲ سانتی متر در سال، در مشهد حداقل ۱۴ و حداکثر ۲۳ سانتی متر در سال، در نیشابور ۱۰ سانتی متر در سال، گرگان تقریباً ۵ سانتی متر در سال، در سمنان ۱۰ الی ۱۳ سانتی متر در سال و در ایوانکی ۱۱ سانتی متر در سال بود. «برداشت بی رویه آب‌های زیرزمینی و عوامل تکتونیکی» مهم ترین عامل موثر بر فرورنشست زمین بودند (جدول ۳).

جدول شماره ۳. نتایج پژوهش های انجام شده در استان های خراسان رضوی، گلستان و سمنان

استان	دشت/شهر	بازه زمانی	میزان فرونشست	مهم ترین عامل موثر بر فرونشست
خراسان رضوی	جوین	۲۰۱۸-۲۰۱۷	۶/۴ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و عوامل تکتونیکی
	سبزوار	۲۰۰۸-۲۰۰۴	۲ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و عوامل تکتونیکی
	مشهد	۲۰۰۶-۱۹۸۱	۲۰ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	مشهد	۲۰۰۵-۲۰۰۳	۲۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	مشهد	۲۰۱۰-۲۰۰۳	۲۰ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	مشهد	۲۰۱۷-۲۰۱۴	۱۴ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و عوامل تکتونیکی
	مشهد	۲۰۱۸-۲۰۱۷	۲۰/۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
گلستان	مشهد/نیشابور	۲۰۱۷	۲۲ سانتی متر در مشهد و ۱۰ سانتی متر در نیشابور	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	گرگان	۲۰۰۸-۲۰۰۶	۴/۸ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و عوامل تکتونیکی
	گرگان	۲۰۰۹-۲۰۰۶	۴/۸ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و عوامل تکتونیکی
سمنان	سمنان	۲۰۰۴-۲۰۰۳	۱۳/۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	سمنان	۲۰۱۵-۲۰۱۴	۱۰ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	ایوانکی	۲۰۱۸-۲۰۱۶	۱۱ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی

استان های اصفهان، یزد و خوزستان

مرور سیستماتیک نتایج پژوهش نشان داد که میزان فرونشست در دشت مهبیار حداقل ۶/۴ و حداکثر ۸/۲ سانتی متر در سال، نجف آباد ۷/۷ سانتی متر در سال، ابرکوه حداقل ۵/۵ و حداکثر ۱۲ سانتی متر در سال و در دزفول ۵/۹ سانتی متر در سال بود. «برداشت بی رویه آب های زیرزمینی و انحلال سازندهای آهکی» مهم ترین عامل موثر بر فرونشست زمین بودند (جدول ۴).

جدول شماره ۴. نتایج پژوهش های انجام شده در استان های اصفهان، یزد و خوزستان

استان	دشت/شهر	بازه زمانی	میزان فرونشست	مهم ترین عامل موثر بر فرونشست
اصفهان	مهبیار	۲۰۰۶-۲۰۰۳	۸/۲ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	مهبیار	۲۰۱۰-۲۰۰۴	۶/۴ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	نجف آباد	۲۰۱۴-۲۰۰۲	۷/۷ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
یزد	ابرکوه	۲۰۱۵-۲۰۰۷	۱۲ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	ابرکوه	۲۰۱۸-۲۰۱۴	۵/۵ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	ابرکوه	۲۰۱۹-۲۰۱۷	۷ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
خوزستان	دزفول	۲۰۱۲-۲۰۱۰	۵/۹ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی

استان‌های فارس، کرمان و هرمزگان

مرور سیستماتیک نتایج پژوهش نشان داد که میزان فرونشست در قره باغ ۲۸/۶ سانتی متر در سال، دیندارلو ۳۰ سانتی متر در سال، مرودشت ۲/۵ سانتی متر در سال، نورآباد ۴ سانتی متر در سال، جیرفت ۱۲ سانتی متر در سال، کرمان ۶ سانتی متر، و میناب ۱۳ سانتی متر در سال بود. «برداشت بی رویه آب‌های زیرزمینی، عوامل تکتونیکی و وزن تاسیسات و بناها» مهم ترین عامل موثر بر فرونشست زمین بودند (جدول ۵).

جدول شماره ۵. نتایج پژوهش‌های انجام شده در استان‌های فارس، کرمان و هرمزگان

استان	دشت/شهر	بازه زمانی	میزان فرونشست	مهم ترین عامل موثر بر فرونشست
فارس	قره باغ	۱۹۹۶-۲۰۰۸	۲۸/۶ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	دیندارلو	۱۹۹۲-۲۰۱۴	۳۰ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	مرودشت	۲۰۱۳	۲/۵ سانتی متر در چهار ماه	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	نورآباد	۲۰۱۵-۲۰۱۸	۴ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	نورآباد	۲۰۱۵-۲۰۱۹	۴ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
کرمان	جیرفت	۲۰۱۴-۲۰۲۲	۱۲ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه آب زیر زمینی و عوامل تکتونیکی
	شهر کرمان	۲۰۱۴-۲۰۱۷	۶ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و وزن تاسیسات و بناها
	شهر کرمان	۲۰۱۴-۲۰۲۰	۶ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
هرمزگان	میناب	۲۰۱۴-۲۰۱۸	۱۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی

استان تهران

استان تهران به عنوان پایتخت و پر جمعیت ترین استان کشور به دلیل استخراج بی رویه از منابع آب زیر زمینی و ساخت سازه های سنگین با مسئله فرونشست بالای زمین روبرو است و از این رو مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است. بازه زمانی مطالعات انجام شده در استان تهران بین سال های ۲۰۰۳ الی ۲۰۲۰ بوده است. مرور سیستماتیک نتایج پژوهش نشان داد که میزان فرونشست در تهران بین ۳ الی ۴۳ سانتی متر متغیر است. همچنین میزان فرونشست در شهریار بین ۱۱ الی ۲۷ سانتی و در ورامین ۲۰ سانتی متر گزارش شده است (جدول ۶).

جدول شماره ۶. نتایج پژوهش‌های انجام شده در استان‌های تهران

استان	دشت/شهر	بازه زمانی	میزان فرونشست	مهم ترین عامل موثر بر فرونشست
تهران	دشت تهران	۲۰۰۳-۲۰۱۰	۱۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	دشت تهران	۲۰۰۹-۲۰۱۰	۲۵ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و وزن تاسیسات و بناها
	جنوب تهران	۲۰۱۰	۲۴ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	جنوب غربی تهران	۲۰۱۱-۲۰۱۳	۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	تهران	۲۰۱۴-۲۰۱۶	۶/۱ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه آب زیر زمینی، و وجود تونل های زیر زمینی خطوط ریلی مترو
	دشت تهران	۲۰۱۵-۲۰۱۷	۴۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	شهریار	۲۰۰۳-۲۰۱۰	۲۷ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	شهریار	۲۰۱۵-۲۰۲۰	۱۱ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و وزن تاسیسات و بناها
	ورامین	۲۰۱۶-۲۰۱۹	۲۰ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی

مرور سیستماتیک مطالعات تطبیقی

در این پژوهش منظور از مطالعات تطبیقی این است که دو یا چند دشت/شهر مورد بررسی قرار گرفته باشند. نتایج نشان داد که میزان فرونشست در شهریار - کرج حداقل ۲/۳ و حداکثر ۱۳/۶ سانتی متر در سال، قروه ۱۷ سانتی متر، دشت چهاردولی ۱۶/۶ سانتی متر در سال، فسا- داراب ۲۵ سانتی متر در سال، نوق و بهرمان ۳۰ سانتی متر در سال، دامنه- داران حداقل ۶ و حداکثر ۹ سانتی متر در سال، یزد- اردکان حداقل ۲ و حداکثر ۱۳ سانتی متر در سال، ابرکوه ۳ سانتی متر در سال، مهردشت ۵ سانتی متر در سال، گرگان، آق قلا و علی آباد از حداقل ۱ و حداکثر ۱۵ سانتی متر در سال، دشت شبستر و صوفیان، میزان فرونشست به میزان ۱۰ سانتیمتر در سال، ۲/۸ سانتی متر در دشت جعفرآباد و قنوات ۳/۵ سانتی متر در سال و همدان - بهار ۶ سانتی متر در سال بود. «برداشت بی رویه آب‌های زیرزمینی، انحلال سازندهای آهکی، عوامل تکتونیکی و وزن تاسیسات و بناها» مهم ترین عامل موثر بر فرونشست زمین گزارش شده بود (جدول ۷).

جدول شماره ۷. نتایج پژوهش های در مطالعات تلفیقی

استان	دشت/شهر	بازه زمانی	میزان فرونشست	مهم ترین عامل موثر بر فرونشست
تهران - البرز	شهریار - کرج	۲۰۱۰-۲۰۰۳	۲/۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	شهریار - کرج	۲۰۱۰-۲۰۰۹	۱۳/۶ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
همدان - کردستان	قروه - چهاردولی	۲۰۱۸-۲۰۱۷	۱۷ سانتی متر در دشت قروه و در دشت چهاردولی ۱۶/۶ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
فاس	فسا- داراب	۲۰۱۰-۲۰۰۵	۲۵ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
کرمان	نوق و بهرمان	۲۰۱۰-۲۰۰۵	۳۰ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
اصفهان	دامنه- داران	۲۰۱۸-۲۰۱۴	۶ الی ۹ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	دامنه- داران	۲۰۱۷	۶/۴ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
یزد	یزد- اردکان	۲۰۰۱-۱۹۹۳	۲ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	یزد- اردکان	۲۰۱۸-۲۰۰۳	۱۳ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	ابرکوه- مهردشت	۲۰۰۵-۲۰۰۳	در شهر ابرکوه ۳ سانتی متر و در مهردشت ۵ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه آب زیر زمینی و انحلال سازندهای آهکی
گلستان	گرگان، آق قلا و علی آباد	۲۰۱۰-۲۰۰۵	۱ تا ۱۵ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و عوامل تکتونیکی
	گرگان، آق قلا و علی آباد	۲۰۰۸-۲۰۰۶	۱۳/۵ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و عوامل تکتونیکی
آذربایجان شرقی	شبستر و صوفیان	۲۰۱۶-۲۰۲۰	۱۰ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
قم	دشت جعفر آباد و قنوات	۲۰۱۰-۲۰۰۳	۲/۸ سانتی متر در دشت جعفرآباد و قنوات ۳/۵ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
همدان	دشت همدان - بهار	۲۰۲۰-۲۰۱۵	۵/۶ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی
	شهر همدان - بهار	۲۰۲۰-۲۰۱۵	۴/۷ سانتی متر در سال	برداشت بی رویه از آبهای زیر زمینی و وزن تاسیسات و بناها

ارائه یک الگوی سیستماتیک از مطالعات فرونشست زمین در ایران به منظور بازنگری در شناسایی و مدیریت مخاطرات فرونشست

با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی ایران که از جمله کشورهایی است که در مناطق فعال زمین‌لرزه و فرونشست قرار دارد، مدیریت مخاطرات مرتبط با فرونشست زمین یک امر حیاتی و اساسی است. به منظور شناسایی و کاهش تاثیرات منفی فرونشست زمین بر زیرساخت‌ها و جوامع، نیاز به الگوهای سیستماتیک و کامل برای مطالعه این پدیده در ایران احساس می‌شود. این الگو باید شامل مراحل جامعی از جمع‌آوری داده‌ها، شناسایی علل و عوامل مؤثر در فرونشست، تعیین مناطق پرخطر و ارائه راهکارهای مدیریتی جهت کاهش مخاطرات فرونشست زمین باشد. این الگو به عنوان یک راهنمای کمکی به مسئولین، محققین و تصمیم‌گیران در زمینه مدیریت مخاطرات در مقابل تهدیدات فرونشست زمین خدمت کند. از اهمیت این تحقیقات و الگوی سیستماتیک می‌توان برای حفظ زیرساخت‌ها، جلوگیری از خسارات اقتصادی و انسانی، افزایش توانایی پاسخگویی در مواقع بحران و افزایش دانش عمومی نسبت به مخاطرات فرونشست زمین اشاره نمود.

نتیجه‌گیری

یک روش مرور سیستماتیک برای تعیین میزان فرونشست در ایران استفاده شد. بر این اساس، پایگاه‌های اطلاعاتی دانشگاهی ایرانی SID و Magiran جستجو شد. سپس از چارچوب PRISMA برای انتخاب ۷۶ مقاله جهت ورود به مرور سیستماتیک استفاده شد. در این مطالعه، وضعیت فرونشست زمین در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، زنجان، کردستان، کرمانشاه، البرز، قزوین، همدان، مرکزی، قم، خراسان رضوی، گلستان، سمنان، اصفهان، یزد، خوزستان، فارس، کرمان، هرمزگان و تهران بررسی شده است. پراکندگی تعداد مطالعات انجام‌شده در سطح کشور نشان داد که بیشترین مطالعات مربوط به استان‌های تهران (۹ پژوهش) و خراسان رضوی (۸ پژوهش) بود و استان‌های البرز، فارس و یزد (هر کدام ۶ پژوهش) در مرتبه بعدی قرار داشتند. متناسب با معیارهای در نظر گرفته‌شده برای ورود پژوهش‌ها به مرور سیستماتیک، این مطالعات در بازه زمانی ۱۳۸۵ الی ۱۴۰۲ قرار داشتند و بیشترین مطالعات فرونشست منتخب در این پژوهش از سال ۱۳۹۷ به بعد منتشر شده بودند. نتایج پژوهش نشان داد که بیشترین میزان فرونشست به ترتیب در دشت تهران ۴۳ سانتی متر (۲۰۱۵-۲۰۱۷)، دشت کرج ۳۰ سانتی متر (۲۰۱۶-۲۰۲۱)، دشت دیندارلو ۳۰ سانتی متر (۱۹۹۲-۲۰۱۴)، نوق و بهرمان ۳۰ سانتی متر (۲۰۰۵-۲۰۱۰)، دشت قره باغ ۲۸/۶ سانتی متر (۱۹۹۶-۲۰۰۸) اتفاق افتاده است. همچنین میزان فرونشست زمین در مناطق مختلف و بازه‌های زمانی متفاوت در هر کدام از استان ایران متغیر بود. در برخی مناطق، برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی به عنوان عامل اصلی فرونشست زمین اشاره شده است. عوامل دیگری مانند عوامل تکتونیکی، وزن تاسیسات و بناها، و انحلال سازندهای آهکی نیز در برخی مناطق تأثیرگذار هستند. به نظر می‌رسد آنچه که باعث متغیر بودن میزان فرونشست زمین در استان‌های ایران شده است ترکیب عواملی مانند ترکیب زمین‌شناسی، شرایط آب و هوایی، فعالیت‌های انسانی، فعالیت‌های معدنی و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و تعامل آنها با یکدیگر باشد. برای مثال نوع خاک و سنگ‌های موجود در هر منطقه می‌تواند تأثیر زیادی در میزان فرونشست زمین داشته باشد. خاک‌های مختلف، از جمله خاک‌های رسی، شنی، ماسه‌ای و آهکی، در مورد قابلیت نگهداری آب، پایداری مکانیکی و خصوصیات کششی متفاوتی برخوردارند که می‌تواند باعث تغییرات در میزان فرونشست زمین شود. یا فعالیت‌های انسانی و معدنی مانند استخراج منابع زیرزمینی، آبیاری زیرزمینی بی‌رویه، ساخت و سازها، استخراج زمین، استفاده ناعادلانه از منابع آب، استخراج معادن مانند زغال سنگ، نفت، گاز طبیعی و مواد معدنی دیگر می‌تواند به فرونشست زمین منجر شود. این فعالیت‌ها ممکن است در مناطق خاص و در بازه‌های زمانی خاص تأثیر قابل توجهی داشته باشند. برخی از مهم‌ترین

راهبردهای در راستای جلوگیری از فرونشست زمین در ایران عبارتند از: ۱- مدیریت منابع آب: این راهبرد شامل برنامه‌ریزی دقیق و استفاده پایدار از منابع آب شامل آب سطحی و آب زیرزمینی است. کنترل استفاده از آب زیرزمینی، تعادل بین برداشت و تجدیدپذیری آب زیرزمینی و اجرای سیستم‌های مدیریت آب مانند تعریض رودخانه‌ها و توسعه سدها می‌تواند در کاهش فرونشست زمین مؤثر باشد. ۲- مدیریت منابع خاک: این راهبرد شامل اعمال تدابیری برای تقویت ساختار خاک و کاهش آسیب‌پذیری آن در برابر فرونشست می‌شود. استفاده از روش‌های مهندسی خاک مانند پیچش خاک، تزریق مواد تثبیت‌کننده در خاک، استفاده از گیاهان مناسب جهت تثبیت خاک و کاهش رطوبت خاک می‌تواند به بهبود پایداری خاک و کاهش فرونشست زمین کمک کند. ۳- مدیریت ساخت و ساز: در برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های ساخت و ساز، باید اصول مهندسی مدرن و روش‌های ساختاری پیشرفته رعایت شود. این شامل استفاده از تکنولوژی‌های مهندسی پیشرفته، استفاده از مصالح مقاوم در برابر فرونشست و طراحی سازه‌های مقاوم در برابر نیروهای فرونشست زمین است. ۴- آموزش و اطلاع‌رسانی: آموزش و افزایش آگاهی جامعه درباره خطرات فرونشست زمین و روش‌های جلوگیری از آن بسیار مهم است. اطلاع‌رسانی مناسب به مردم، مسئولان و متخصصان مرتبط می‌تواند باعث ایجاد همکاری و اقدامات هماهنگ برای جلوگیری از فرونشست زمین شود. ۵- مطالعات دقیق زمین‌شناسی: بررسی جامع و دقیق خصوصیات زمین، جنبه‌های جغرافیایی، آب‌های زیرزمینی، لایه‌های خاک و سنگ، ساختارهای زمین‌شناسی و نحوه تاثیر آنها بر فرونشست زمین، می‌تواند به درک بهتر علل و عوامل این پدیده کمک کند. ۶- نظارت و اندازه‌گیری مداوم: برای درک بهتر وضعیت فعلی فرونشست زمین و تغییرات آن، نیاز است که فعالیت‌های نظارت و اندازه‌گیری مداوم انجام شود. این شامل استفاده از سیستم‌های نظارتی زمینی، سنجش از دور، نظارت بر آب‌های زیرزمینی و نظارت بر ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها است. ۷- تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی: استفاده از روش‌های تحلیل داده‌ها و مدل‌سازی می‌تواند کمک کند تا الگوها و روندهای فرونشست زمین شناسایی شوند و پیش‌بینی‌های دقیق‌تری در مورد وقوع آن صورت بگیرد. این امر می‌تواند به برنامه‌ریزی و اتخاذ تدابیر احتیاطی برای جلوگیری از فرونشست زمین کمک کند. ۸- پژوهش‌ها در زمینه روش‌های پیشگیری و مداخله: بررسی روش‌های پیشگیری و مداخله در مقابل فرونشست زمین، ارزیابی عملکرد این روش‌ها و تجزیه و تحلیل تجربیات مربوطه، می‌تواند به توسعه راهکارهای موثرتر برای جلوگیری از فرونشست زمین کمک کند. ۹- همکاری و هماهنگی بین نهادها: برای موفقیت در جلوگیری از فرونشست زمین، لازم است که نهادهای مختلف از جمله دولت، سازمان‌های محیط زیست، وزارتخانه‌ها، دانشگاه‌ها و جامعه مدنی همکاری و هماهنگی کنند. ایجاد هماهنگی در برنامه‌ریزی، اجرا و نظارت بر اقدامات مرتبط با فرونشست زمین اهمیت دارد.

منابع

- احمدی، س.، و سودمندافشار، ر.، ۱۳۹۹. پایش فرونشست دشتهای قروه و چهاردولی استانهای همدان و کردستان با استفاده از فن پراکنش گرهای دائمی، محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۳، صص ۲۱۹-۲۳۳.
- احمدی، ن.، موسوی، ز.، و معصومی، ز.، ۱۳۹۷. مطالعه فرونشست دشت خرمدره با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و بررسی مخاطرات آن، سنجش از دور و GIS ایران، دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۳۳-۵۲.
- آروین، ع.ا.، وهابزاده کبریا، ق.، موسوی، س.ر.، و بختیاری کیا، م.، ۱۳۹۸. مدل‌سازی مکانی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از سنجش‌از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۱۹-۳۴.
- اسدی، م.، گنجائیان، ح.، جاودانی، م.، و قادری حسب، م.، ۱۴۰۰. ارزیابی ارتباط بین عوامل طبیعی و میزان فرونشست در دشت ایوانکی با استفاده از تصاویر رادار، هیدروژئولوژی، دوره ۶، شماره ۱، صص ۱۳-۲۲.

- اصغری سراسکانرود، ص.، فعال نذیری، م.، و پیروزی، ا.، ۱۴۰۱. پهنه بندی گستره خطر فرونشست زمین در دشت مرکزی استان البرز با بهره گیری از تکنیک تداخلسنجی راداری و الگوریتم تحلیل چندمعیاره ARAS، اکوهیدرولوژی، دوره ۹، شماره ۲، صص ۳۵۳-۳۷۱.
- اصغری سراسکانرود، ص.، و محمدزاده شیشه‌گران، م.، ۱۴۰۰. برآورد میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخلسنجی راداری و پارامترهای آبهای زیرزمینی و کاربری اراضی، مطالعه موردی: دشت شهریار، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۰، شماره ۱، صص ۴۰-۵۴.
- اصغری سراسکانرود، ص.، و محمدزاده شیشه‌گران، م.، ۱۴۰۱. برآورد میزان فرونشست در دشت آذرشهر با استفاده از تداخلسنجی راداری و تحلیل پارامترهای موثر آبهای زیرزمینی و کاربری اراضی، یافته‌های نوین زمینشناسی کاربردی، دوره ۱۶، شماره ۳۲، صص ۷۵-۹۱.
- آقایی، ل.، عابدینی، م.، و اصغری سراسکانرود، ص.، ۱۴۰۱. برآورد میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخلسنجی راداری و پارامترهای آبهای زیرزمینی و کاربری اراضی، مطالعه موردی: دشت اردبیل، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۱، شماره ۱، صص ۱۱۷-۱۳۲.
- اکبری، م.، ۱۴۰۰. پایش فرونشست زمین تحت تاثیر عوامل زمینشناسی و منابع آب با روش تداخلسنجی تفاضلی راداری (مطالعه موردی: شهر اراک)، حفاظت منابع آب و خاک، دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۱۱۵-۱۳۱.
- آل‌شیخ، ع.ا.، چتر سیماب، ز.، و وثوقی، ب.، مدیری، م.، و پاکدامن، م.ص.، ۱۴۰۱. بررسی فرونشست سطح زمین در اثر برداشت بیرویه آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخلسنجی راداری-آبخوان مروشدت، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۱۱۴-۱۲۵.
- آمیغی، م.، عربی، س.، و طالبی، ع.، ۱۳۸۹. بررسی فرونشست یزد با استفاده از روش تداخلسنجی راداری و ترازبایی دقیق، فصلنامه علوم زمین، دوره ۲۰، شماره ۷۷، صص ۱۵۷-۱۶۴.
- بابایی، س.س.، خزایی، ص.، و قاصدمبارکه، ف.، ۱۳۹۶. پردازش سری زمانی تداخلسنجی تصاویر راداری COSMO-SkyMed به منظور محاسبه نرخ فرونشست در محدوده سازه‌های زمینی و زیر زمینی در شهر تهران، علوم و فنون نقشه برداری، دوره ۷، شماره ۱، صص ۵۵-۶۷.
- بابایی، س.س.، موسوی، ز.، و روستایی، م.، ۱۳۹۵. آنالیز سری زمانی راداری تصاویر با استفاده از روش‌های کوتاه اس بی ای اس و پراکنش‌کننده‌های دائمی در تعیین نرخ فرونشست دشت قزوین، نشریه علوم و فنون نقشه برداری، دوره ۵، شماره ۴، صص ۹۵-۱۱۱.
- بهنیا، ا.، قنبرزاده، ه.، و اشراقی، ع.، ۱۳۸۹. بررسی عوامل موثر در فرونشست‌های دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن، فصل نامه جغرافیا و برنامه ریزی شهری چشم انداز زاگرس، دوره ۲، شماره ۵، صص ۱۳۱-۱۴۶.
- پاپی، ر.، عطارچی، س.، و سلیمانی، م.، ۱۳۹۹. تحلیل سری زمانی فرونشست زمین در غرب استان تهران (دشت شهریار) و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیر زمینی با تکنیک تداخلسنجی راداری، نشریه جغرافیا و پایداری محیط، دوره ۴، شماره ۳۴، صص ۱۰۹-۱۲۸.
- تورانی، م.، آق‌آتابایی، م.، و روستایی، م.، ۱۳۹۷. مطالعه فرونشست در غرب استان گلستان با استفاده از روش تداخلسنجی راداری، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۸، شماره ۲۷، صص ۱۱۷-۱۲۸.
- تورانی، م.، آق‌آتابایی، م.، و روستایی، م.، ۱۳۹۷. مطالعه فرونشست در غرب استان گلستان با استفاده از روش تداخلسنجی راداری، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۸، شماره ۲۷، صص ۱۱۷-۱۲۸.
- جانباذفوتی، م.، خلقی، م.، عبده‌کلاهی، ع.ا.، و روستایی، م.، ۱۳۹۹. بررسی فرونشست زمین ناشی از تغییرات سطح ایستایی آب زیرزمینی با استفاده از روش تداخلسنجی تفاضلی راداری: مطالعه موردی استان قزوین، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۶، شماره ۳، صص ۱۳۳-۱۴۷.
- جعفری، غ.ج.، و محمدی، ه.، ۱۳۹۸. پهنه بندی خطر فروچاله‌ها با استفاده از روش وزن شواهد مطالعه موردی: دشت کبود آهنگ -فامنین، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۶، شماره ۳، صص ۷۱-۸۸.

- حاجب، ز، موسوی، ز، معصومی، ز، و رضایی، ا. ۱۳۹۸. مطالعه فرونشست دشت قم با استفاده از تداخل سنجی راداری و هیدروژئولوژیکی آبخوان، فصلنامه علوم زمین، دوره ۲۹، شماره ۱۱۴، صص ۲۵۱-۲۵۸.
- حاجب، ز، موسوی، ز، معصومی، ز، و رضایی، ا. ۱۳۹۸. مطالعه فرونشست دشت قم با استفاده از تداخل سنجی راداری و ویژگیهای هیدروژئولوژیکی آب، فصلنامه علوم زمین، دوره ۲۸، شماره ۱۱۴، صص ۲۵۱-۲۵۸.
- حجازی، ا.ا، رضایی مقدم، م.ح، ولیزاده کامران، خ، و موسوی کجاباد، ن. ۱۴۰۱. آشکارسازی فرونشست زمین جهت پایداری دشت هریس با استفاده از تصاویر راداری و روشهای SBAS و PSI، جغرافیا و پایداری محیط، دوره ۱، شماره ۱۲، صص ۸۹-۱۰۳.
- حجازی، م.ا.ا، رضایی مقدم، م.ح، ولیزاده کامران، خ، و موسوی کجاباد، ن. ۱۴۰۱. آشکارسازی و تعیین میزان فرونشست با استفاده از روش تداخل سنج راداری InSAR-D در محدوده دشت هریس، پژوهش های فرسایش محیطی، دوره ۱، شماره ۴۵، صص ۱۸۳-۲۰۶.
- حداد، ع.ا، و خراسانی، ا. ۱۳۹۸. اثر تغییرات سطح آب زیرزمینی بر فرونشست دشت سمنان، فصلنامه علوم زمینی، دوره ۲۸، شماره ۱۱۲، صص ۱۸۱-۱۹۰.
- حقیقت مهر، پ. ۱۳۸۹. پایش دگرشکلی پوسته با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری با دریچه مصنوعی، دانشکده فنی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، گروه مهندسی نقشه برداری.
- حقیقت مهر، پ. ولدان زوج، م.ج، تاجیک، ر، جباری، س، صاحبی، م.ر، اسلامی، ر، گنجیان، م، و دهقانی، م. ۱۳۹۱. تحلیل سری زمانی فرونشست هشتگرد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و سامانه موقعیت یابی جهانی، فصلنامه علوم زمین، دوره ۲۲، شماره ۸۵، صص ۱۰۵-۱۱۴.
- حمیدی، ر، صفری، ح، و روستایی، م. ۱۴۰۰. بررسی عوامل ساختاری و غیر ساختاری مؤثر بر فرونشست دشت گرگان- آق قلا- علی آباد با تلفیق نتایج روش تداخل سنجی تفاضلی راداری و اطلاعات زیر سطحی، فصلنامه زمین شناسی ایران، دوره ۱۵، شماره ۶۰، صص ۴۳-۵۷.
- حمیدی، ر، صفری، ح.ا، و روستایی، مهاسا، ۱۴۰۰. بررسی عوامل ساختاری و غیر ساختاری مؤثر بر فرونشست دشت گرگان- آق قلا- علی آباد با تلفیق نتایج روش تداخل سنجی تفاضلی راداری و اطلاعات زیر سطحی، زمین شناسی ایران، دوره ۱۵، شماره ۶۰، صص ۴۳-۵۷.
- خرمی، م، ابریشمی، س، و مقصودی، ی. ۱۳۹۸. تعیین فرونشست شهر مشهد به روش تداخلسنجی راداری پراکنشگر دائمی، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۱، شماره ۶، صص ۱۱۸۷-۱۲۰۴.
- خسروانی، ز، اخوان قالیباف، م، دهقانی، م، درهمی، و، و بولکا، م. ۱۴۰۰. پایش فرونشست دشت ابرکوه با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و تحلیل پارامترهای مؤثر بر آن، مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، دوره ۱۰، شماره ۳۲، صص ۶۱-۷۲.
- خلعتبری، ا. ۱۳۸۷. آمار و روش تحقیق، تهران، پردازش.
- داداشی، ث، صادق فام، س، تدیری، ع.ا، و محبی، ی. ۱۳۹۹. تحلیل آسیب پذیری فرونشست آبخوان دشت مرند با استفاده از روش آلپرفیت بر اثر بهره برداری بیش از حد از منابع آب زیر زمینی، مهندسی عمران شریف، دوره ۳۶، شماره ۳، صص ۸۵-۹۶.
- دستجردی، م، و عمادی، س.ر. ۱۳۹۹. بررسی فرونشست دشت زنجان و ارتباط آن با افت تراز سطح آب های زیرزمینی با استفاده از تصاویر راداری ماهواره انویست بین سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰، هیدروفیزیک، دوره ۶، شماره ۱، صص ۶۷-۸۲.
- دهقانی بیدگلی، ر، کوهبنانی، ح.ر، یزدانی، م.ر. ۱۳۹۹. پهنه بندی فرونشست دشت سمنان ناشی از برداشت بی رویه آبهای زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و تصاویر سنتینل، نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال ۱۰، شماره ۳۹، صص ۱۷۵-۱۸۷.
- دهقانی، م، کرمی، م، حسینی زاده، س.م، شفیعی، س.م، و آرزومان، ف. ۱۳۹۴. بررسی فرونشست دشت دیندارلو با تکنیک InSAR و ارزیابی آن با افت سطح ایستابی به روش Kriging، کنفرانس تخصصی علوم زمین. SID. <https://sid.ir/paper/840890/fa>

- دهقانی، م.، ۱۳۹۳. ارائه الگوریتمی جدید بر مبنای تکنیک تداخل سنجی راداری به منظور پایش فرونشست سطح زمین ناشی از استخراج آبهای زیرزمینی، نشریه مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دوره ۲، شماره ۲، صص ۶۱-۷۲.
- رجیبی، م.، روستایی، ش.، و جوادی، س.م.ر.، ۱۴۰۰. ارزیابی نرخ فرونشست دشت همدان-بهار و ارتباط آن با پارامترهای محیطی، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۱۷۵-۱۸۸.
- رجیبی، م.، روستایی، ش.، و جوادی، س.م.ر.، ۱۴۰۱. ارزیابی میزان فرونشست در شهرهای غربی استان همدان با استفاده از تصاویر راداری، نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۲۶، شماره ۸۱، صص ۸۱-۹۶.
- رحمانی، غ.ر.، چیت سازان، م.، و غفوری، ح.ر.، ۱۴۰۱. تعیین ارتباط افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین در آبخوان دشت دامنه - داران با ترکیب مدل های عددی و تحلیلی، زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۲۷۵-۲۵۹.
- رحمانی، غ.ر.، چیت سازان، م.، و غفوری، ح.ر.، ۱۴۰۱. تهیه نقشه آسیب پذیری فرونشست زمین با استفاده از مدل WALPSRFT و روش تحلیل سلسله مراتبی-فازی مطالعه موردی: دشت دامنه-داران در غرب استان اصفهان، هیدروژئولوژی، دوره ۷، شماره ۱، صص ۱۳۱-۱۵۰.
- رنجبر باروق، ز.، و فتح اله زاده، م.، ۱۴۰۱. بررسی فرونشست زمین با استفاده از سری زمانی تصاویر راداری و ارتباط آن با تغییرات تراز آبهای زیرزمینی، مطالعه موردی: کالن شهر کرج، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۰، شماره ۴، صص ۱۳۸-۱۵۵.
- روستایی، ش.، رضایی مقدم، م.ح.، یاراحمدی، ج.، و نجفوند، س.، ۱۴۰۱. آشکارسازی فرونشست جهت پایداری زمین با استفاده از روش تداخلسنجی راداری با پراکنشگرهای دائمی (مطالعه موردی: دشت شبستر - صوفیان)، جغرافیا و پایداری محیط، دوره ۱۲، شماره ۳، صص ۵۷-۷۴.
- زارعی، ک.، رسول زاده، ع.، صدیقی، م.، احمدزاده، غ.ر.، و رضایی مقدم، ج.، ۱۳۹۹. تعیین رابطه فرونشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی با دو روش تداخل سنجی راداری و ایستگاه ثابت GPS، مطالعه موردی: دشت سلماس، مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۱۱، شماره ۴۱، صص ۱۶۸-۱۸۲.
- سعادت فر، ا.، ۱۳۹۲. بررسی جایجایی های پیش لرز گسل اهر ورزقان با استفاده از سری زمانی تداخل سنجی راداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران و نقشه برداری.
- شاهی، و.، عمادالدین، س.، آرخی، ص.، و آق آتابای، م.، ۱۴۰۱. تعیین میزان فرونشست زمین در محدوده مخروط افکنه ورامین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری، فصلنامه پژوهشهای جغرافیای طبیعی، دوره ۵۴، شماره ۲، صص ۱۷-۳۳.
- شرافت، م.، انصاری، ع.ا.، مجتهدزاده، س.ح.، ۱۳۹۹. مطالعه فرونشست دشت ابرکوه یزد با استفاده از فن تداخل سنجی راداری با درجهٔ مصنوعی، فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۶، شماره ۲، صص ۱۸۵-۲۰۴.
- شرافت، م.، انصاری، ع.ا.، مجتهدزاده، س.ح.، و قربانی، ا.، ۱۳۹۸. پایش فرونشست دشت ابرکوه یزد با استفاده از فن تداخل سنجی راداری مینی بر پراکنش گرهای پایا، فصلنامه علمی خشک بوم، دوره ۹، شماره ۲، صص ۱۲۱-۱۳۶.
- شریفی کیا، م.، ۱۳۹۱. تعیین میزان فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری دشت نوق بهرمان، برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۳، صص ۱۳-۲۱.
- شریفی کیا، م.، مال امیری، ن.، و شایان، ش.، ۱۳۹۲. سنجش میزان آسیب پذیری بافت های شهری در برابر مخاطره فرونشست زمین مطالعه موردی (بخشی از جنوب شهر تهران)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۲، شماره ۵، صص ۹۱-۱۰۶.
- شریفی کیا، م.، ۱۳۹۱. تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری در دشت نوق - بهرمان، برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۳، صص ۵۵-۷۷.
- شفیعا، س.، شفیعا، م.ع.، و کاظمیان، غ.ر.، ۱۳۹۲. فراتحلیل روش و نتایج پژوهش های کیفیت زندگی شهری در ایران، جامعه شناسی کاربردی، پیاپی ۵۰، ۲۴ (۲)، صص ۲۱-۴۰.

- شفیعی، ن.، گلی مختاری، ل.، امیر احمدی، ا.ا.، و زندی، ر.، ۱۳۹۹. بررسی فرونشست آبخوان دشت نورآباد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، دوره ۸، شماره ۴، صص ۹۳-۱۱۱.
- شفیعی، ن.، گلی مختاری، ل.، امیراحمدی، ا.ا.، و زندی، ر.، ۱۴۰۰. تحلیل فضایی فرونشست زمین و افت آب زیرزمینی با استفاده از مدل GWR، مطالعه موردی: آبخوان نورآباد ممسنی، جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۲۵، شماره ۷۶، صص ۱۵۹-۱۷۱.
- شیرانی، ک.، پسندی، م.، و ابراهیمی، ب.، ۱۴۰۰. بررسی فرونشست زمین در دشت نجف آباد اصفهان با استفاده از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری، نشریه علوم آب و خاک، دوره ۲۵، شماره ۱، صص ۱۰۵-۱۲۷.
- صالحی متعهد، ف.، حافظی مقدس، ن.، لشکری پور، غ.ر.، و دهقانی، م.، ۱۳۹۸. ارزیابی فرونشست زمین به کمک تلفیق روش تداخل سنجی راداری و اندازه گیری های میدانی و بررسی دلایل و اثرات آن بر شهر مشهد، نشریه زمین شناسی مهندسی، دوره ۱۳، شماره ۳، صص ۴۳۵-۴۶۳.
- صالحی، ر.، غفوری، م.، لشکری پور، غ.ر.، و دهقانی، م.، ۱۳۹۲. بررسی فرونشست دشت مهیار جنوبی با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، دوره ۳، شماره ۱۱، صص ۴۷-۵۷.
- صفاری، ا.، جعفری، ف.، و توکلی صبور، س.م.، ۱۳۹۵. پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب های زیر زمینی مطالعه موردی: دشت کرج - شهریار، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۵، شماره ۲، صص ۸۲-۹۳.
- صفاری، ا.، جعفری، ف.، و توکلی صبور، س.م.، ۱۳۹۵. فصلنامه پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۲، پیاپی ۱۸، صص ۹۳-۸۲.
- صفاری، ا.، و جعفری، ف.، ۱۳۹۵. سنجش مقدار و پهنه بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری مطالعه موردی: دشت کرج، فصلنامه علمی - پژوهشی و بینالمللی انجمن جغرافیای ایران، دوره ۱۴، شماره ۴۸، ۱۷۵-۱۸۸.
- طاهری زنگی، ص.، و واعظی هیر، ع.ر.، ۱۳۹۹. پتانسیل فرونشست دشت شازند ناشی از افت آب زیرزمینی با مدل وزن دهی و آنالیز صحت سنجی آن با استفاده از تداخل سنجی راداری، اکوهیدرولوژی، دوره ۷، شماره ۱، صص ۱۸۳-۱۹۴.
- عابدینی، م.، عبادی، ا.، و قلعه، ا.، ۱۴۰۱. بررسی فرونشست دشت ماهیدشت استان کرمانشاه با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۲۶، شماره ۷۹، صص ۲۰۷-۲۲۰.
- عامریان، ی.، و وثوقی، ب.، ۱۳۹۰. کنترل فرونشست دشت مشهد و نیشابور بر مبنای روش تجزیه و تحلیل تغییر انحنای استفاده از میدان جابه جایی حاصل از مشاهدات GPS، فصلنامه علوم زمین، دوره ۲۱، شماره ۸۲، صص ۱۳۳-۱۳۸.
- عدالت، ع.، خداپرست، م.، و رجبی، م.ع.، ۱۴۰۰. بررسی اثرات تغییر تراز آب زیرزمینی آبخوان بر پدیده فرونشست و راهکارهای تعادل بخشی آبخوان (مطالعه موردی: دشت علی آباد قم)، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۳، شماره ۵، صص ۲۰۲۳-۲۰۴۲.
- عرب عامری، ع.، رفیعی، م.، رضایی، خ.، شیرانی، ک.، و محمدی ثابت، ن.، ۱۳۹۸. برآورد میزان سالیانه فرونشست در دشت مهیار با استفاده از روش تداخلسنجی راداری و تحلیل پارامترهای موثر بر آن، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۱۱، شماره ۳، صص ۶۶۱-۶۷۵.
- عسگری، م.ر.، و ابراهیمی، ک.، ۱۳۹۹. بررسی پدیده فرونشست دشت ابهر با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW و بر مبنای توسعه بسته عددی SUB، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، دوره ۹، شماره ۳، صص ۱۵۵-۱۷۰.
- فتح الهی، ن.، آخوندزاده هنزائی، م.، و بحرودی، ع.، ۱۳۹۷. بررسی فرونشست زمین در اثر استخراج مواد نفتی با استفاده از روش تداخل سنجی رادار، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۷، شماره ۱۰۵، صص ۳۳-۳۴.
- فرزین کیا، ر.، زنگنه اسدی، م.ع.، امیراحمدی، ا.ا.، و زندی، ر.، ۱۳۹۸. ارتباط فعالیت های تکنوتیکی و تاثیر آن در فرونشست زمین در حوضه ی آبریز دشت جویین، نشریه هیدروژئومورفولوژی، دوره ۵، شماره ۲۰، صص ۱۶۵-۱۸۵.
- فلاح پور طرنجی، م.، و برزگری بنادکوی، ف.، ۱۴۰۰. ارزیابی فرونشست زمین در دشت ابرکوه با استفاده از فناوری تداخل سنجی تفاضلی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، نشریه مدیریت بیابان، دوره ۹، شماره ۴، صص ۶۳-۷۸.

- قره چلو، س.، اکبری قوچانی، ح.، گلیان، س.، و گنجی، ک.، ۱۴۰۰. ارزیابی میزان فرورنشست زمین در ارتباط با آبهای زیرزمینی به کمک داده ماهواره‌های راداری سنتینل-۱ و الوس-۱ (منطقه مورد مطالعه: دشت مشهد)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳، ۱۱-۱۴.
- قنوتی، ع.، شریفی کیا، م.، و حسینی، س.ا.، ۱۳۹۸. تبیین اثر و فرایند ژئومورفولوژیکی پدیده فرورنشست در تغییر الگوی لند فرمهای ژئومورفولوژیکی مطالعه موردی دشت یزد- اردکان، نشریه پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، دوره ۸، شماره ۲، صص ۱-۱۶.
- قهرودی تالی، م.، علی نوری، خ.، و ریوندی، ه.، ۱۴۰۰. تحلیل عوامل مؤثر بر فرورنشست در دشت سبزوار، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۳۰، شماره ۱۱۷.
- کرمانی، م.، نوغانی دخت بهمنی، م.، و برادران کاشانی، ز.، ۱۳۹۷. فراتحلیل کیفی مقالات پژوهشی حوزه توانمندسازی زنان روستایی و شهری در ایران، مطالعات اجتماعی روانشناختی زنان، سال ۱۶، شماره ۲، صص ۳۳-۵۴.
- کریمی، م.، قنبری، ع.ا.، و امیری، ش.، ۱۳۹۲. سنجش خطر پذیری سکونتگاه های شهری از پدیده فرورنشست زمین، مطالعه موردی: منطقه ۱۸ شهر تهران، مجله علمی پژوهشی برنامه ریزی فضایی (جغرافیا)، دوره ۳، شماره ۱، صص ۳۷-۵۶.
- گلی، ع.، مرادی، م.، و دهقانی، م.، ۱۳۹۸. ارزیابی آسیب پذیری سکونتگاه های روستایی ناشی از فرورنشست زمین در استان فارس، مجله پژوهش و برنامه ریزی روستایی، دوره ۸، شماره ۴، صص ۹۱-۱۰۶.
- محمدحسینی، م.، و شیخ شریعتی کرمانی، ب.، ۱۴۰۰. تعیین میزان فرورنشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی: شریان های حمل و نقلی منطقه غرب شهر کرمان)، فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، دوره ۳، شماره ۶۸، صص ۷۵-۹۰.
- محمدخان، ش.، گنجائیان، ح.، گروسی، ل.، و زنگنه تبار، ز.، ۱۳۹۸. ارزیابی تأثیر افت آبهای زیرزمینی بر میزان فرورنشست با استفاده از تصاویر راداری سنتینل-۱ محدود مورد مطالعه: دشت قره، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۸، شماره ۱۱۲، صص ۲۱۹-۲۲۹.
- مرادپور، ن.، پوراحمد، ا.، حاتمی نژاد، ح.، و زیاری، ک.، ۱۴۰۰. فراتحلیلی بر پژوهش های چاپ شده در حوزه تاب آوری شهری در ایران، مدیریت شهری و روستایی، شماره ۶۴، صص ۷-۲۴.
- مرادپور، ن.، پوراحمد، ا.، حاتمی نژاد، ح.، و زیاری، ک.، ۱۴۰۱. تحلیل وضعیت تاب آوری شهر تهران با رویکرد مرور سیستماتیک، جغرافیا و توسعه فضای شهری، ()-. doi: 10.22067/jgusd.2023.74897.1166
- مرادی، آ.، عمادالدی، س.، آرخ، ص.، و رضائی، خ.، ۱۳۹۹. تحلیل فرورنشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، اطلاعات چاههای ژئوتکنیکی و پیژومتری (مطالعه موردی: منطقه شهری ۱۸ تهران)، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۷، شماره ۱، صص ۱۵۳-۱۷۶.
- معتق، م.، داودی جم، م.، مومنی، م.، و هاشمی، م.، ۱۳۹۱. کشف و نمایش فرورنشست دشت مهیار اصفهان به کمک تداخل سنجی راداری، نشریه علمی ترویجی مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دوره ۳، شماره ۲، صص ۲۰-۳۸.
- مهربانی، ع.، کریمی، ص.، و خالصی، م.، ۱۴۰۲. تحلیل فضایی فرورنشست دشت جیرفت با استفاده از تکنیک پیکسلهای کوهرنس CPT، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۸۹، شماره ۱، صص ۹۹-۱۱۶.
- مهربانی، علی، و غضنفرپور، ح.، ۱۳۹۸. پایش روند تغییرات ارتفاعی سطح زمین در شهر کرمان و تعیین مناطق پرخطر با استفاده از تصاویر راداری ASAR و SENTINEL1، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۳۰، صص ۱۶۷-۱۸۲.
- میرشاهی، ف.ا.، ولدان زوج، م.ج.، دهقانی، م.، و هاشمی امین آبادی، س.م.، ۱۳۹۲. اندازه گیری فرورنشست سطح زمین به کمک تکنیک تداخل سنجی راداری با استفاده از تصاویر TerraSAR-X، همایش ملی ژئوماتیک، دوره ۲۰.
- نظم فر، ح.، و شیرزاد گرجان، م.، ۱۴۰۱. پایش فرورنشست سطح زمین با فن تداخل سنجی راداری، محدوده مورد مطالعه: دشت مشگین، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۲۱، صص ۲۴-۵۰.

- یمانی، م.، نجفی، ا.، و عابدینی، م.ح.، ۱۳۸۸. ارتباط فرونشست زمین و افت سطح آب‌های زیر زمینی در دشت قره بلاغ استان فارس، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا، دوره ۳، شماره ۸، صص ۹-۲۷.
- Bai, Z., Wang, Y., & Balz, T. (2022). Beijing land subsidence revealed using PS-InSAR with long time series TerraSAR-X SAR data. *Remote Sensing*, 14(11), 2529.
- Bakhtiari, A., 2014. Country report: The Islamic Republic of Iran on disaster risk management. Kobe: Iranian National Disaster Management Organization.
- Bendarzsevszkij, A., Eszterhai, V., Gere, L., Klemensits, P. & Polyák, E. 2021. World Economic Forum 2017. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 4(2).
- Buffardi, C., & Ruberti, D. (2023). The Issue of Land Subsidence in Coastal and Alluvial Plains: A Bibliometric Review. *Remote Sensing*, 15(9), 2409.
- Cabral-Cano, E., Solano Rojas, D. E., Oliver-Cabrera, T., Salazar-Tlaczani, L., Wdowinski, S., DeMets, C., & Pacheco, J. (2014, December). Subsidence and associated shallow faulting hazard assessment in central Mexico using InSAR and GPS. In *AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2014, pp. G41A-0471)*.
- Castellazzi, P., Martel, R., Rivera, A., Huang, J., Pavlic, G., Calderhead, A. I., ... & Salas, J. (2016). Groundwater depletion in Central Mexico: Use of GRACE and InSAR to support water resources management. *Water resources research*, 52(8), 5985-6003.
- Chaussard, E., & Farr, T. G. (2019). A new method for isolating elastic from inelastic deformation in aquifer systems: Application to the San Joaquin Valley, CA. *Geophysical Research Letters*, 46(19), 10800-10809.
- Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H., & Hong, S. H. (2013). Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction. *Remote sensing of environment*, 128, 150-161.
- Cigna, F., & Tapete, D. (2021). Satellite InSAR survey of structurally-controlled land subsidence due to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, Mexico. *Remote Sensing of Environment*, 254, 112254.
- Diao, X., Wu, K., Chen, R., & Yang, J. (2019). Identifying the cause of abnormal building damage in mining subsidence areas using InSAR technology. *IEEE Access*, 7, 172296-172304.
- Dobos, E., Kovács, I. P., Kovács, D. M., Ronczyk, L., Szűcs, P., Perger, L., & Mikita, V. (2022). Surface deformation monitoring and risk mapping in the surroundings of the Soltvyno Salt Mine (Ukraine) between 1992 and 2021. *Sustainability*, 14(13), 7531.
- Dong, S. C., Zhong, Y. H., Hu, H., & Huang, L. L. (2019). Ground subsidence monitoring during 2015–2018 in Changzhou based on times series InSAR method. *J. NanJing Unvi.(Natruel Sci.)*, 55, 370-380.
- Dong, Y., Zhang, M. S., Liu, J., Zhang, X. L., & Feng, L. (2019). Coupling relationship between groundwater and ground fissures of land subsidence in Xi'an city and risk prevention and control technology. *Northwestern Geology*, 52(2), 95-102.
- Fallah Aliabadi, S., Sarsangi, A. and Modiri, E., 2015. The social and physical vulnerability assessment of old texture against earthquake (case study: Fahadan district in Yazd City). *Arabian Journal of Geosciences*, 8, pp.10775-10787.
- Feng, W., WANG, C. Q., MU, D. P., ZHONG, M., ZHONG, Y. L., & XU, H. Z. (2017). Groundwater storage variations in the North China Plain from GRACE with spatial constraints. *Chinese Journal of Geophysics*, 60(5), 1630-1642.
- Galloway, D. L., & Burbey, T. J. (2011). Review: regional land subsidence accompanying groundwater extraction. *Hydrogeology* 19: 1459–1486.
- Galloway, D.L. and Sneed, M., 2013. Analysis and simulation of regional subsidence accompanying groundwater abstraction and compaction of susceptible aquifer systems in the USA. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(1), pp.123-136.
- Gambolati, G. and Teatini, P., 2015. Geomechanics of subsurface water withdrawal and injection. *Water Resources Research*, 51(6), pp.3922-3955.
- Gong, H., Pan, Y., Zheng, L., Li, X., Zhu, L., Zhang, C., ... & Zhou, C. (2018). Long-term groundwater storage changes and land subsidence development in the North China Plain (1971–2015). *Hydrogeology Journal*, 26(5), 1417-1427.
- Guo, H., Zhang, Z., Cheng, G., Li, W., Li, T., & Jiao, J. J. (2015). Groundwater-derived land subsidence in the North China Plain. *Environmental earth sciences*, 74, 1415-1427.

- Haghghi, M. H., & Motagh, M. (2019). Ground surface response to continuous compaction of aquifer system in Tehran, Iran: Results from a long-term multi-sensor InSAR analysis. *Remote sensing of environment*, 221, 534-550.
- Halipu, A., Wang, X., Iwasaki, E., Yang, W., & Kondoh, A. (2022). Quantifying Water Consumption through the Satellite Estimation of Land Use/Land Cover and Groundwater Storage Changes in a Hyper-Arid Region of Egypt. *Remote Sensing*, 14(11), 2608.
- Han, Y., Li, T., Dai, K., Lu, Z., Yuan, X., Shi, X., ... & Zhang, X. (2023). Revealing the Land Subsidence Deceleration in Beijing (China) by Gaofen-3 Time Series Interferometry. *Remote Sensing*, 15(14), 3665.
- Han, Y., Zou, J., Lu, Z., Qu, F., Kang, Y., & Li, J. (2020). Ground deformation of wuhan, china, revealed by multi-temporal insar analysis. *Remote Sensing*, 12(22), 3788.
- Herrera-García, G., Ezquerro, P., Tomás, R., Béjar-Pizarro, M., López-Vinielles, J., Rossi, M., ... & Ye, S. (2021). Mapping the global threat of land subsidence. *Science*, 371(6524), 34-36.
- Hoffmann, J., Galloway, D. L., & Zebker, H. A. (2003). Inverse modeling of interbed storage parameters using land subsidence observations, Antelope Valley, California. *Water Resources Research*, 39(2).
- Hu, J., Motagh, M., Guo, J., Haghghi, M. H., Li, T., Qin, F., & Wu, W. (2022). Inferring subsidence characteristics in Wuhan (China) through multitemporal InSAR and hydrogeological analysis. *Engineering Geology*, 297, 106530.
- Hu, R. L., Yue, Z. Q., Wang, L. U., & Wang, S. J. (2004). Review on current status and challenging issues of land subsidence in China. *Engineering Geology*, 76(1-2), 65-77.
- Jeanne, P., Farr, T. G., Rutqvist, J., & Vasco, D. W. (2019). Role of agricultural activity on land subsidence in the San Joaquin Valley, California. *Journal of hydrology*, 569, 462-469.
- Jones, C. E., An, K., Blom, R. G., Kent, J. D., Ivins, E. R., & Bekaert, D. (2016). Anthropogenic and geologic influences on subsidence in the vicinity of New Orleans, Louisiana. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(5), 3867-3887.
- Koufogiannakis, D., 2012. The state of systematic reviews in library and information studies.
- Li, G., Zhao, C., Wang, B., Peng, M., & Bai, L. (2023). Evolution of spatiotemporal ground deformation over 30 years in Xi'an, China, with multi-sensor SAR interferometry. *Journal of Hydrology*, 616, 128764.
- Liberati, A., Altman, D.G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P.C., Ioannidis, J.P., Clarke, M., Devereaux, P.J., Kleijnen, J. and Moher, D., 2009. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Annals of internal medicine*, 151(4), pp. W-65.
- Liu, Y., Ma, T. and Du, Y., 2017. Compaction of muddy sediment and its significance to groundwater chemistry. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, pp.392-395.
- Ma, T., Du, Y., Ma, R., Xiao, C. and Liu, Y., 2018. Water-rock interactions and related eco-environmental effects in typical land subsidence zones of China. *Hydrogeology Journal*, 26(5).
- Moradpour, N., Pourahmad, A., Hataminejad, H., Ziari, K. and Sharifi, A., 2022. An overview of the state of urban resilience in Iran. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 14(2), pp.154-184.
- Motagh, M., Shamshiri, R., Haghghi, M. H., Wetzel, H. U., Akbari, B., Nahavandchi, H., ... & Arabi, S. (2017). Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements. *Engineering geology*, 218, 134-151.
- Murray, K. D., & Lohman, R. B. (2018). Short-lived pause in Central California subsidence after heavy winter precipitation of 2017. *Science Advances*, 4(8), eaar8144.
- Osmanoglu, B., Dixon, T.H., Wdowinski, S., Cabral-Cano, E. and Jiang, Y., 2011. Mexico City subsidence observed with persistent scatterer InSAR. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(1), pp.1-12.
- Qu, W., Lu, Z., Zhang, Q., Li, Z., Peng, J., Wang, Q., ... & Zhang, M. (2014). Kinematic model of crustal deformation of Fenwei basin, China based on GPS observations. *Journal of Geodynamics*, 75, 1-8.

- Ran, J., MacGillivray, B.H., Gong, Y. and Hales, T.C., 2020. The application of frameworks for measuring social vulnerability and resilience to geophysical hazards within developing countries: A systematic review and narrative synthesis. *Science of the total environment*, 711, p.134486.
- Shi, G., Ma, P., Hu, X., Huang, B., & Lin, H. (2021). Surface response and subsurface features during the restriction of groundwater exploitation in Suzhou (China) inferred from decadal SAR interferometry. *Remote Sensing of Environment*, 256, 112327.
- Shi, M., Gong, H., Gao, M., Chen, B., Zhang, S., & Zhou, C. (2020). Recent ground subsidence in the North China Plain, China, revealed by sentinel-1A datasets. *Remote Sensing*, 12(21), 3579.
- Solarski, M. (2013). Anthropogenic transformations of the Bytom area relief in the period of 1883-1994. *Environmental & Socio-economic Studies*, 1(1), 1-8.
- Stouthamer, E., Erkens, G., Cohen, K., Hegger, D., Driessen, P., Weikard, H. P., ... & Van Rijswijk, M. (2020). Dutch national scientific research program on land subsidence: Living on soft soils—subsidence and society. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 382, 815-819.
- UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction). 2015. “Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030”, http://www.wcdrr.org/uploads/Sendai_Framework_for_Disaster_Risk_Reduction_2015-2030.pdf. Accessed Apr 2015.
- Wu, J., Shi, X., Xue, Y., Zhang, Y., Wei, Z. and Yu, J., 2008. The development and control of the land subsidence in the Yangtze Delta, China. *Environmental Geology*, 55, pp.1725-1735.
- Xu, Y.S., Ma, L., Shen, S.L. and Sun, W.J., 2012. Evaluation of land subsidence by considering underground structures that penetrate the aquifers of Shanghai, China. *Hydrogeology Journal*, 20(8), p.1623.
- Zhang, X., Cheng, Z., Xu, B., Gui, R., Hu, J., Yang, C., ... & Xiong, T. (2023). Coupling the Relationship between Land Subsidence and Groundwater Level, Ground Fissures in Xi'an City Using Multi-Orbit and Multi-Temporal InSAR. *Remote Sensing*, 15(14), 3567.
- Zhang, Y., Wu, J., Xue, Y., Wang, Z., Yao, Y., Yan, X., & Wang, H. (2015). Land subsidence and uplift due to long-term groundwater extraction and artificial recharge in Shanghai, China. *Hydrogeology Journal*, 23(8), 1851.