



جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۴۰۴، دوره ۸، شماره ۳، صص ۴۰۵-۳۹۱

ارزیابی اثر فرونشست زمین بر جاذبه‌های ژئوتوریستی شهر طرقله

زهرا نظری گزیک^{۱*}، مهناز صدیق^۲

۱. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

Email: zn99202@gmail.com

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد، مدیریت، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

Email: mahnazzsedigh@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱

چکیده

یکی از مخاطراتی که در طی سال‌های اخیر در بسیار از مناطق رخ داده است، مخاطرات ناشی از فرونشست است. موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا بسیاری از مناطق آن در معرض این مخاطره باشد، که از جمله این مناطق شهر طرقله در دشت مشهد می‌باشد. طرقله در اقلیم خشک و نیمه خشک واقع شده است. تکنیک تداخل سنجی راداری یک ابزار قوی در برآورد فرونشست با دقتی در محدوده میلی‌متری با استفاده از مشاهدات فاز را دارا هستند. در این مقاله به منظور پایش فرونشست اتفاق افتاده در شهر طرقله از داده‌های ماهواره Sentinel 1A سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ استفاده شده است. نتیجه مطالعات حاصل از تداخل سنجی راداری نشان داد، در طول دوره آماری در منطقه مورد مطالعه ۱۰ سانتی‌متر فرونشست اتفاق افتاده است. در ادامه به بررسی محل قرار گرفتن ژئوسایت‌ها و مراکز تجاری و اقامتگاه‌ها پرداختیم. میزان فرونشست‌های ثبت شده برای هر دوره به ترتیب ۲ سانتی‌متر برای ۲۰۱۷-۲۰۱۸، برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۹ حدود ۱ سانتی‌متر، ۳ سانتی‌متر برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰ و ۴ سانتی‌متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱ بدست آمد. طبق نتیجه بدست آمده تقریباً تمامی مراکز گردشگرپذیر شهر طرقله در مناطق بحرانی فرونشست واقع شده‌اند و در صورت عدم جلوگیری از این خطر در آینده شاهد تخریب این مکان‌ها و کاهش چشم‌گیر گردشگران خواهیم بود.

واژگان کلیدی: تکنیک تداخل سنجی، فرونشست، ENVI، شهر طرقله، ژئوتوریسم.

مقدمه

فرآیندهای زمین‌شناسی اغلب مناظر طبیعی و شکل‌های زمین را در برمی‌گیرند که جاذبه اصلی برای ژئوتوریسم هستند (تسفا و زودیه^۱، ۲۰۲۳). جاذبه گردشگری در بدلندهای شکل گرفته از نظر زمین‌شناسی و گردشگری مبتنی بر منظره و... به سرعت در حال رشد هستند (برد و همکاران^۲، ۲۰۲۰، ۳۹؛ جمشیدی پور^۳، ۲۰۲۲، ۵۵؛ تسما و همکاران^۴، ۲۰۲۱، ۲۲۵). ژئوتوریسم یکی از حوزه‌های جدید گردشگری است که به طور کامل از اصول گردشگری تبعیت می‌کند و ترکیبی از زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، چشم‌اندازهای طبیعی، ناهمواری‌ها، سنگ‌ها و کانی‌ها با تاکید بر فرآیندهای به‌وجودآورنده این اشکال است (ازساهین^۵، ۲۰۱۷، ۹۹). ژئوسایت‌ها به دلیل جاذبه‌های زیبایی‌شناختی، علمی، فرهنگی و اقتصادی خود ممکن است به منابع گردشگری تبدیل شوند که می‌تواند منجر به شکل‌گیری فعالیت‌های تفریحی و اثرات اقتصادی مثبتی شوند (براهولی و منکشی^۶، ۲۰۲۱، ۶۳). بطور کلی، ژئوتوریسم به عنوان یک ابزار ارزشمند در ارتقای توسعه اقتصادی پایدار و حفظ منابع طبیعی و فرهنگی منحصر به فرد شناخته می‌شود که می‌تواند سایر ابعاد و فعالیت‌ها را تحت تاثیر قرار دهد (تسفا و زودیه^۷، ۲۰۲۳، ۶۳۴).

چشم‌انداز سطح زمین به‌عنوان سیستمی پیچیده حاصل تعامل فاکتورهایی نظیر فرآیندهای جغرافیایی، اقلیمی، زمانی و فعالیت‌های انسانی است. رشد کالبدی، بدون رعایت اصول برنامه‌ریزی شهری و ساخت‌وسازهایی بدون در نظر گرفتن پتانسیل مخاطرات موجود در پهنه‌های در معرض مخاطرات طبیعی، آسیب‌پذیری و خسارت‌ها در محدوده‌های مورد نظر را تشدید می‌کند. عواملی که با تغییر در چگونگی ساختار و کارکرد توپوگرافی طبیعی و ریز اقلیم، به‌ویژه در محیط‌های انسان‌ساخت، زمینه‌ساز ایجاد مخاطراتی نظیر زمین‌لغزش، سیلاب شهری، زمین‌لرزه و فرونشست می‌گردد (فنی و همکاران، ۱۳۹۶، ۱۲۵). براساس تعریف سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده، پدیده فرونشست زمین شامل فروریزش یا نشست روبه پائین سطح زمین است که می‌تواند دارای حرکت قائم رو به پائین وسط زمین و کمی افقی باشد (عابدینی، ۱۳۹۶، ۲۳۰). پدیده فرونشست زمین به دلایل مختلف از جمله برداشت بیش‌ازحد منابع آب زیرزمینی و تغییرات جوی سبب بروز مشکلات و معضلات فراوان در زمینهای کشاورزی، جاده‌ها، خطوط انتقال نیرو و انرژی می‌شود (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۱، ۱۹). تاکنون مطالعات زیادی در خصوص فرونشست و گردشگری در داخل و خارج از کشور انجام شده است برای مثال، آگوستان و همکاران (۲۰۱۶، ۱۲) به ارزیابی جابجایی زمین در جاکارتا از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های راداری پرداختند. نتایج تحقیق بیانگر این است که در این منطقه در ماه نوامبر ۲۰۱۵ تا سپتامبر ۲۰۱۶ حدود ۱۲ سانتی‌متر فرونشست داشته است. دو و همکاران (۲۰۱۷، ۵۴) به ارزیابی میزان فرونشست شبه جزیره لیژاوو در چین با استفاده از تصاویر راداری پرداختند. در این تحقیق از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۰ استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داد که حداکثر میزان فرونشست با ۳۲ میلی‌متر در نوار خط ساحلی بوده است، در حالی که میزان فرونشست در زمین‌ها داخلی بین ۱۰ تا ۱۹ میلی‌متر در سال برآورد شده است. بریل‌ها و همکاران (۲۰۱۵، ۱۱۹) در پژوهشی با عنوان فهرست برداری و ارزیابی کمی

1. Tesfa & Zewdie

2. Berred et al

3. Jamshidipour

4. Tessema et al

5. ozsahin

6. Braholli & Menkshi

7. Tesfa & Zewdie

ژئوسایت‌ها و مکان‌های دارای ژئودایورسیتی نقاط ضعف و قوت ارزیابی‌ها را بررسی و یک معیار برای ارزیابی ژئوسایت‌ها و ژئودایورسیتی بیان می‌کند. در نهایت، نتایج این مقاله به ارائه فهرست‌برداری و ارزیابی ژئودایورسیتی و ژئوسایت‌ها کمک فراوانی کرده‌است. کیرچنر و همکاران (۲۰۱۵، ۱۵) در پژوهشی با عنوان ارزیابی ژئوسایت‌ها و ژئومورفوسایت‌ها به‌عنوان ابزاری برای حفاظت میراث زمین و ژئوتوریسم (مطالعه موردی: کوهستان ویزوویکا، ورچوینا بخش جنوب‌شرقی جمهوری چک) ژئومورفوسایت‌ها را در هایلند کشور چک ارزیابی و فرصت‌ها، نقاط ضعف و توانایی‌های ژئومورفوسایت‌ها را بررسی کردند. نتایج کار نقاط مستعد را برای توسعه گردشگری با مدلی ساده بیان می‌کند. بهاتارای (۲۰۱۷، ۳۹)، به شناسایی فرونشست زمین در دره کاتماندو نپال با استفاده از تکنیک **DInSAR** پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عمق فرونشست در محدوده ۱ سانتی‌متری تا ۱۷ سانتی‌متر است و عامل اصلی تاثیرگذار بر وقوع فرونشست زمین ناشی از آب‌های زیرزمینی است. کوکعان و همکاران (۲۰۱۷، ۷۱) در پژوهشی با عنوان ارزیابی دره‌ها برای شناسایی ژئومورفوسایت‌ها و ارزش ژئوتوریسم در کوه‌های اپوسنی رومانی یک مطالعه مقایسه‌ای درباره ارزیابی ژئومورفوسایت‌ها در رومانی داشته‌اند و ۵۳ تنگ در کوه‌های **Apuseni** را ارزیابی کرده‌اند و در نهایت، به این نتیجه رسیده‌اند که مناظر کارستیک و تنگ‌ها می‌توانند محافظت شوند. جین و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی نقش فعالیت‌های کشاورزی در فرونشست زمین در دره سان‌خوآکین در کالیفرنیا پرداخته‌اند. یافته‌های اصلی آن‌ها نشان داد خشکسالی‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ موجب افزایش شدید استفاده از آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه و در نتیجه باعث فرونشست گردیده است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۶، ۷۴۵) در پژوهشی با استفاده از روش **SBAS-InSAR** و تصاویر **RADARSAT** بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ به پایش میزان فرونشست شهر ووهان چین با استفاده از تصاویر راداری پرداختند. نتایج تحقیق بیانگر این است که بیش از ۴ منطقه دارای میزان فرونشست قابل توجهی است که این میزان بین ۲۷/۸ تا ۵۱/۵۶ میلی‌متر متغیر می‌باشد. حق‌شناس حقیقی و همکاران (۲۰۱۹) اقدام به بررسی میزان فرونشست محدوده شهرستان ورامین با استفاده از تصاویر **Sentinel-1** از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ کرده‌اند و نتایج تحقیق نشان داده که عامل اصلی فرونشست زمین در محدوده دشت مورد تحقیق، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی بوده است. محبی‌تفرشی و همکاران (۱۷۶، ۱۴۰۰) در تحقیقی به بررسی فرونشست زمین در آبخوان ورامین با استفاده از روش منطق فازی کرده‌اند و نتایج کارشان نشان داده که قسمت‌های جنوب و مرکزی دشت مذکور بیشترین میزان فرونشست را دارند. آرورا^۱ و همکاران (۲۰۲۰، ۱۲۴۴) در پژوهشی با عنوان ارزیابی ژئومورفوسایت‌ها برای توسعه ژئوتوریسم علمی در آندامان شمالی و میانی، هند ژئوسایت‌ها را با مدل رینارد برای توسعه ژئوتوریسم در شمال و مرکز **Andaman** هند ارزیابی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد جزیره آندامان، ژئومورفوسایت‌های ویژه و بکری دارد که به‌لحاظ بیوتوریسم حائز اهمیت است. دست کم چهار ژئومورفوسایت با روش رینارد ارزیابی شده‌است که می‌تواند باعث توسعه ژئوتوریسم در منطقه شود. مین و همکاران (۲۰۲۰، ۲۱۴)، در پژوهشی به بررسی فرونشست در هانوی ویتنام از طریق تکنیک تداخل سنجی راداری پرداختند و با توجه به نتایج به دست آمده افت سطح آب زیرزمینی مهم‌ترین عامل موثر در فرونشست محدوده شناخته شده است. روحی و همکاران (۲۰۲۱، ۴) اقدام به بررسی و محاسبه میزان فرونشست زمین، تغییرات

¹ Arora

رطوبت و شوری خاک با استفاده از تکنیک‌های سنجش ازدور در دشت ورامین کرده‌اند. همچنین تغییرات فرونشست زمین در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۴ توسط تصاویر ماهواره‌های Sentinel-۱ و نرم‌افزار SNAP بررسی شده است. نتایج نشان داده که افزایش میزان فرونشست زمین باعث افزایش سطح شوری خاک و شدت آن شده است. هوانگ و همکاران (۲۰۲۱، ۳۵)، به بررسی فرونشست شهر دژو با روش SBAS پرداختند بررسی‌ها طی بازه زمانی دو ساله نشان می‌دهد که مرکز فرونشست بخش‌های شرقی و شمال شرقی با میزان فرونشست ۴۵ میلی‌متری می‌باشد و این نشست هم رابطه مستقیمی با افت سطح آب‌های زیرزمینی دارد. ماهاتو^۱ و جانا (۲۰۲۱، ۱۳)، با استفاده از M-GAM به بررسی پتانسیل توسعه ژئوتوریسم در رار بنگال، شرق هند پرداختند. نتایج این مطالعه اطلاعاتی را در مورد جنبه‌های اصلی توسعه هر ژئوسایت نشان می‌دهد و مشخص می‌کند که کدام مکان‌ها در آینده نیاز به توجه بیشتر و مدیریت بهتر دارند، به طوری که منطقه برای تعداد بیشتری از گردشگران به‌عنوان مقصد ژئوتوریسم جذاب و شناخته شده شود. تامانگ^۲ و همکاران (۲۰۲۳، ۸۲) طی مطالعه‌ای پتانسیل ژئوتوریسم زمین پروتروزیویک در هند شرقی را از طریق شناسایی و توصیف ژئومورفوسایت‌ها با استفاده از یک طرح کدگذاری جغرافیایی ۱۰ رقمی و مدل ارزیابی ژئوسایت (GAM) مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد گسترش ژئوتوریسم بر روی ژئومورفوسایت‌ها بر استفاده اقتصادی و فرهنگی از لندفرم‌ها و حفاظت جغرافیایی از ویژگی‌های ژئوسفر تأکید دارد که به طور بالقوه می‌تواند وضعیت اقتصادی اجتماعی منطقه را ارتقا دهد و پنج ژئومورفوسایت از جمله: آجودهیا، دالما، گار پانچاکوت، جویچاندی، سوسونیا، دارای پتانسیل ژئوتوریسمی بالایی هستند در صورتی‌که دانشگاه کوسوم و جارناکوچا از پتانسیل پایینی برخوردار هستند. ماستیکا^۳ و همکاران (۲۰۲۳، ۱۲۱) در پژوهشی روند توسعه استراتژی‌های خلاقانه برای توانمندسازی قابلیت‌های جامعه و منابع محلی در مدیریت ژئوتوریسم در منطقه توسعه ژئوپارک ایجن در منطقه بوندووسو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که مدیریت روزانه ژئوپارک‌ها با مؤسسات در مناطق روستایی در ایجاد منفعت‌های رقابتی پایدار برای مدیریت ژئوتوریسم مبتنی بر معیارهای VRIN در منطقه ترسیم توسعه ژئوپارک ایجن همکاری داشته‌است.

در ایران نیز دولتی و همکاران (۱۳۹۵، ۲۳) به مطالعه روند توسعه، اثرات و مکانیسم فرونشست زمین در دشت مشهد پرداختند و نشست سطح زمین را به عنوان یکی از پیامدهای منفی افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان مشهد معرفی کردند همچنین نتایج ایشان نشان داد که آبخوان مشهد در دوره زمانی ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۵ در بخش‌های شمال غربی (محدوده بین شهر مشهد و قوچان)، مرکزی (مشهد شهر مشهد) و شرقی- جنوب شرقی آبخوان فرونشست رخ داده است. جوکار سرهنگی و همکاران (۱۳۹۶، ۸۱) در مقاله تحلیل عوامل موثر بر تشکیل و گسترش بدلندها در حوضه ماملو، جاجرود به این نتیجه رسیدند که بدلندها در مناطق با گل سنگ، مارن، گچ و کنگلومرای قرمز، ارتفاع کمتر از ۱۴۰۰ متر، شیب ۱۰-۵ درصد با پوشش گیاهی و کاربری پارک خجیر و مرتع بیشترین تراکم را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین محاسبه میزان همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته نشان داد که به ترتیب عوامل شیب، ارتفاع، پوشش و کاربری اراضی و جنس سنگ بیشترین تاثیر را در فرسایش بدلند منطقه مورد مطالعه دارا می‌باشند. ارزیابی

¹ mahato

² tamang

³ Mastika

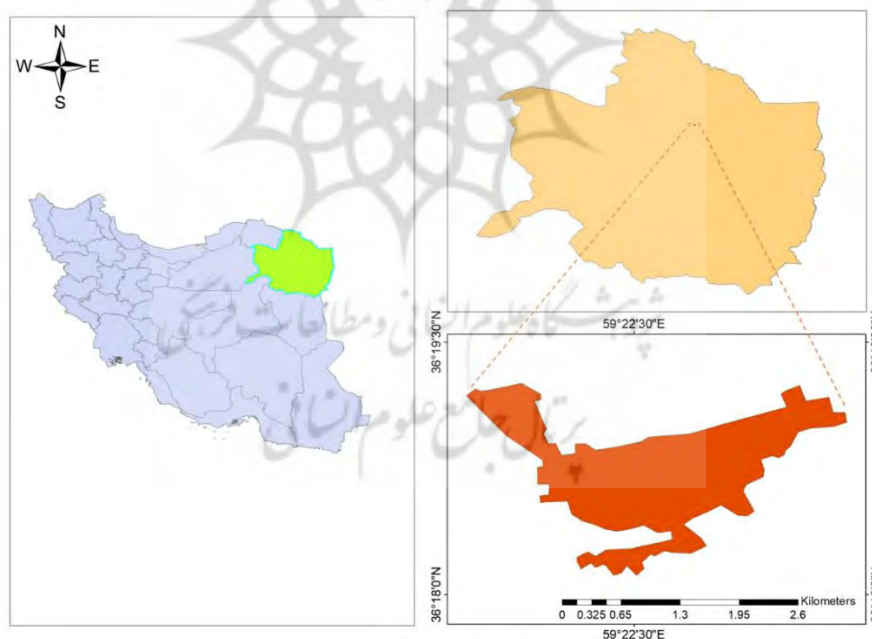
نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از شاخص نسبت تراکمی نشان داد که مقدار شاخص جداکردن طبقات حساسیت در روش تراکم سطح ۲/۵ و در روش همبستگی ۲/۶۹ می‌باشد، بنابراین روش همبستگی دقت بیشتری در تفکیک طبقات حساسیت فرسایش بلدند در منطقه دارد. تورانی و همکاران (۱۳۹۷) میزان فرورنشست در شمال شهر گرگان را از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ حدود ۴/۸ سانتی‌متر برآورد کرده‌اند. احمدی و همکاران (۱۳۹۷) میزان فرورنشست دشت خرمدره را در طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ حدود ۶۹ میلی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. مقصودی و همکاران (۱۳۹۸) فرورنشست زمین در غرب تهران در منطقه شهریار را ۱۵ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. صالحی متعهد و همکاران (۱۳۹۸) میزان فرورنشست شهر مشهد را ۲۰ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. بهرامی و بذرافشان (۱۳۹۶) به بررسی عوامل موثر بر فرورنشست زمین در دشت میناب پرداختند، که از جمله مناطق دارای فرورنشست بالا در استان هرمزگان است. برای مطالعه فرورنشست در این دشت از آمار میزان و عمق سطح تراز آب زیرزمینی و آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک استفاده شده و هیدروگراف واحد آبخوان دشت میناب نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۹۰ حالت نزولی داشته‌است و در این دوره زمانی سطح آب زیرزمینی در حدود ۹۳٪ کاهش یافته‌است. مطابق آمار ارائه شده، میزان تخلیه کل آب در حدود ۱۷۸۰ میلیون مترمکعب بوده و ۹۷٪ آب تخلیه شده دارای مصارف آب شرب شهری و روستایی و کشاورزی است. کوهبنانی و همکاران (۱۳۹۸)، ۲۶) میزان فرورنشست دشت انار در کاشمر را حداکثر ۱۷ سانتی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. خرمی و همکاران در سال (۱۳۹۸، ۱۲۰۴) به بررسی فرورنشست شهر مشهد به روش تداخل سنجی راداری پراکنشگر دائمی از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ پرداختند و بیشینه نرخ فرورنشست را ۱۴ سانتی‌متر به دست آوردند. شاهدی نیری و همکاران (۱۴۰۰، ۶۳۷) در پژوهشی با استفاده از رویکرد توسعه پایدار گردشگری به بررسی اولویت‌بندی مناطق نمونه گردشگری استان اردبیل پرداختند، ایشان به این نتیجه رسیدند که چشمه آب گرم سرعین در رتبه اول، دریاچه شورابیل در رتبه دوم و بقعه شیخ صفی الدین در رتبه سوم قرار گرفتند. اکبریان و همکاران (۱۴۰۰، ۳۹) در تحقیق خود به بررسی اثرات زیست‌محیطی توسعه ژئوتوریسم در جزیره هرمز با استفاده از روش RIAM پرداخت. نتایج بیانگر این است که ژئوتوریسم هرمز دارای توانمندی بالایی جهت توسعه زیست‌محیطی در جزیره هرمز است و می‌توان با تقویت مدیریتی جامع اثرات جزئی مخرب آن را کاهش و اثرات مثبتش را در محیط‌های انسانی و طبیعی جزیره گسترش داد. سعادت‌فر و همکاران (۱۴۰۰، ۵۸) در پژوهشی با عنوان اهمیت زمین گردشگری و پیشنهادی برای ژئوپارک: یک اولویت در اقتصاد منطقه شمال غرب نیشابور-خراسان رضوی ژئومورفوسایت‌ها را با مدل کومانسکو در غرب نیشابور ارزیابی کردند و نشان دادند که معدن فیروزه، آبشار بار و معادن نمک به ترتیب جایگاه اول تا سوم را دارند. ابراهیم‌پور و همکاران (۱۴۰۱، ۱۴۴) در پژوهشی با استفاده از مدل پارک ملی و مدل هادزیک به بررسی و شناخت پتانسیل‌های ژئوتوریستی شهرستان سرعین پرداختند. ایشان براساس مدل هادزیک دریافتند که منطقه ژئوتوریستی ویلادرق نسبت به دو منطقه دیگر توانمندی بالا و نسبتاً خوبی دارد هم‌چنین نتایج مدل فیولت نیز نشان‌داد بر اساس زیرشاخص‌های مورد مطالعه مناطق ژئوتوریستی ویلادرق بیش‌ترین امتیاز و منطقه دربند ورگه‌سران در رتبه دوم و منطقه کنزق در رتبه سوم از نظر توانمندی ژئوتوریستی قرارگرفتند. سلیمانی و همکاران (۱۴۰۱، ۵۲)، در تحقیق خود به ارزیابی آموزش برای توسعه گردشگری پایدار با تأکید بر آموزش مجازی پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که

آموزش گردشگری در آماده‌سازی بازیگران اصلی خط‌مقدم برای مقابله با دوره بهبود در بخش گردشگری بسیار حائز اهمیت است. ابراهیم‌پور و همکاران (۱۴۰۱، ۱۴۴) در پژوهشی با عنوان بررسی توانمندی‌های ژئوتوریستی استان اردبیل با استفاده از مدل کوبالیکوا و مدل فیولت (مطالعه موردی: نیر، نمین، سرعین) ژئوتوریسم سه منطقه نیر، نمین و سرعین را به صورت مقایسه‌ای بررسی کردند و در نهایت، دریافتند که منطقه سرعین بیشترین و منطقه نمین کمترین جاذبه ژئوتوریستی را دارد. حسین‌زاده و همکاران (۱۴۰۱، ۹۹) اقدام به بررسی و تحلیل فضایی فرونشست سطح زمین با استفاده از تداخل سنجی راداری در دشت مرکزی شهرستان قاین نموده‌اند. نتایج نشان داده که میزان فرونشست زمین از سال ۲۰۱۷ تا سال ۲۰۲۰ افزایش داشته است؛ یعنی از ۲.۶ سانتی‌متر در سال ۲۰۱۷ به ۷.۸ سانتی‌متر در سال ۲۰۲۰ رسیده است. بعلاوه هیدروگراف معرف آب زیرزمینی در دشت مرکزی قاین نیز دارای افت محسوسی بوده و میزان افت تراز آب در سطح دشت حدود ۱/۳۰ متر در طول ۵ سال (از سال ۲۰۱۴ تا مارس ۲۰۲۰) رسیده است. یعنی حدوداً هر سال ۲۶ سانتی‌متر افت سطح آب‌های سفره‌های زیرزمینی داشته است. نتایج حاصل از همبستگی آماری نیز نشان داده که بین عامل تغییرات تراز سطح آب و نرخ فرونشست زمین، همبستگی کمی وجود داشته ($p = -0/138$) که این ارتباط غیرمستقیم است. به عبارتی هر چه میزان برداشت آب زیرزمینی بیشتر باشد (یا سطح تراز آب کمتر شود)، میزان فرونشست نیز بیشتر می‌شود؛ اما با توجه به سطح معناداری ($\text{sig} = 0/585$) این ارتباط معنادار نیست. فتوحی و همکاران (۱۴۰۲، ۱۴) در تحقیقی اقدام به بررسی میزان فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری (D-InSAR) در دشت نهبندان- سهل‌آباد نموده و نتایج نشان داده که بیشترین میزان فرونشست مربوط به محدوده‌ی اراضی کشاورزی در مرکز و شمال دشت در حدود ۱۳/۴ سانتی‌متر در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ بوده است. بعلاوه در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ حدود ۱۳/۱ سانتی‌متر فرونشست زمین رخ داده است. از طرفی این محدوده در مطالعات جدید با تصاویر ماهواره Sentinel1 در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ نیز با میزان فرونشست ۵/۹ سانتی‌متر نشان دهنده تداوم فرونشست در این منطقه است. محمدآبادی و همکاران (۱۴۰۲، ۵۴۲)، به منظور تحلیل عوامل موثر در وقوع فرونشست دشت قهاوند با استفاده از تصاویر راداری و ماهواره ای مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که نتایج حاصله از این پژوهش، دشت قهاوند در طی دوره زمانی ۲ ساله (از تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۵ تا ۲۰۱۹/۰۱/۱۹) بین ۱۵ تا ۷۸ میلی‌متر فرونشست داشته است. همچنین نتایج حاصله از این پژوهش نشان داده است که عامل اصلی فرونشست منطقه، افت شدید منابع آب زیرزمینی بر اثر توسعه اراضی کشاورزی آبی بوده است. در واقع، بیشترین میزان فرونشست منطقه، منطبق بر اراضی کشاورزی آبی بوده است. دشت مشهد، یکی از مناطق با نرخ فرونشست بسیار بالا است و شهر طرهبه در جنوب غربی این دشت قرار دارد که با توجه به مخاطرات و خسارات جانی و مالی احتمالی ناشی از فرونشست، ضرورت دارد مورد توجه بیشتری قرار گیرند. بنابراین هدف از این پژوهش پایش و ارزیابی میزان فرونشست شهر طرهبه با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و بررسی محل قرارگیری ژئوسایت‌ها و مکان‌های گردشگری و تجاری و اقامتی این شهر در محدوده خطر می‌باشد.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

شهرستان طرّبه از جنوب با شهرستان نیشابور و از غرب نیز به شهرستان گلپه‌ار متصل می‌باشد. شهر طرّبه مرکز شهرستان طرّبه شان‌دیز است. شهر طرّبه با مساحتی در حدود ۱۶۰۰ کیلومتر مربع از جمله مناطق بسیار زیبا و ییلاقی مشهد به شمار می‌رود. این منطقه زیبا در میان دره‌های سرسبز، چشمه‌ها و مناظر چشم‌نواز رشته کوه بینالود قرار دارد. طرّبه در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه واقع شده است. این منطقه در فاصله ۱۳۳۴ متری از سطح دریا قرار دارد و همین امر سبب شده تا نسبت به شهر مشهد، خنک‌تر باشد و از بارندگی بیشتری بهره‌بردارد. آب و هوای طرّبه سرد و خشک است و تابستان‌هایی با هوای خنک دارد. وضعیت اقلیمی و کاهش نزولات جوی که به تبع آن کمبود منابع و محدودیت‌های تامین آب را فراهم می‌سازد، موجب شده که توجه ویژه‌ای به مسائل و مشکلات مرتبط با مدیریت منابع آب در آن معطوف گردد. شهر طرّبه بر روی نهشته‌های آبرفتی جوان دشت مشهد بنا شده است. نهشته‌های آبرفتی این دشت حاصل از فعالیت رودخانه کشف رود و سیلاب‌های فصلی رودخانه‌های محلی می‌باشد که از کوه‌های بینالود سرچشمه گرفته است. طرّبه دارای مراکز متعدد گردشگری است و از مراکز مهم گردشگری [استان خراسان رضوی](#) به‌شمار می‌رود. این منطقه کوهستانی زیبا دارای باغ‌ها و پارک‌های زیادی است و به داشتن تپه‌های زیبا و شب‌های خنک در تابستان مشهور می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر طرّبه در سطح کشور و استان خراسان رضوی

داده‌ها و روش مورد استفاده

روش کار در این پژوهش مطالعات اسنادی و میدانی است. در این تحقیق از داده‌های راداری که شامل تصاویر سنتینل ۱ جهت محاسبه نرخ فرورفتن در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۷ استفاده شده است.

مطالعات تداخل سنجی راداری در این تحقیق توسط ۵ تصویر سنتینل و به کمک نرم افزار ENVI 5.3 انجام گرفته است. برای کاهش سیگنال‌های نامطلوب یا اعوجاج و افزایش همبستگی زمانی ایتترفروگرام‌ها از تصاویر راداری با بازه زمانی ۱ ساله استفاده شد. ترکیب داده‌های راداری از مدارهای صعودی و نزولی جهت بهبود مدل‌های رقومی زمین با به دست آوردن جابه‌جایی‌ها در جهات مختلف و با استفاده از ایتترفرومتری، بعمل آمد. همچنین در این تحقیق به منظور محاسبه فرونشست از تصاویر سنتینل (جدول ۱) با فرمت (SLC) تک منظر با پورازاسیون (VV) جهت محاسبه میزان نرخ جابه‌جایی استفاده شده است.

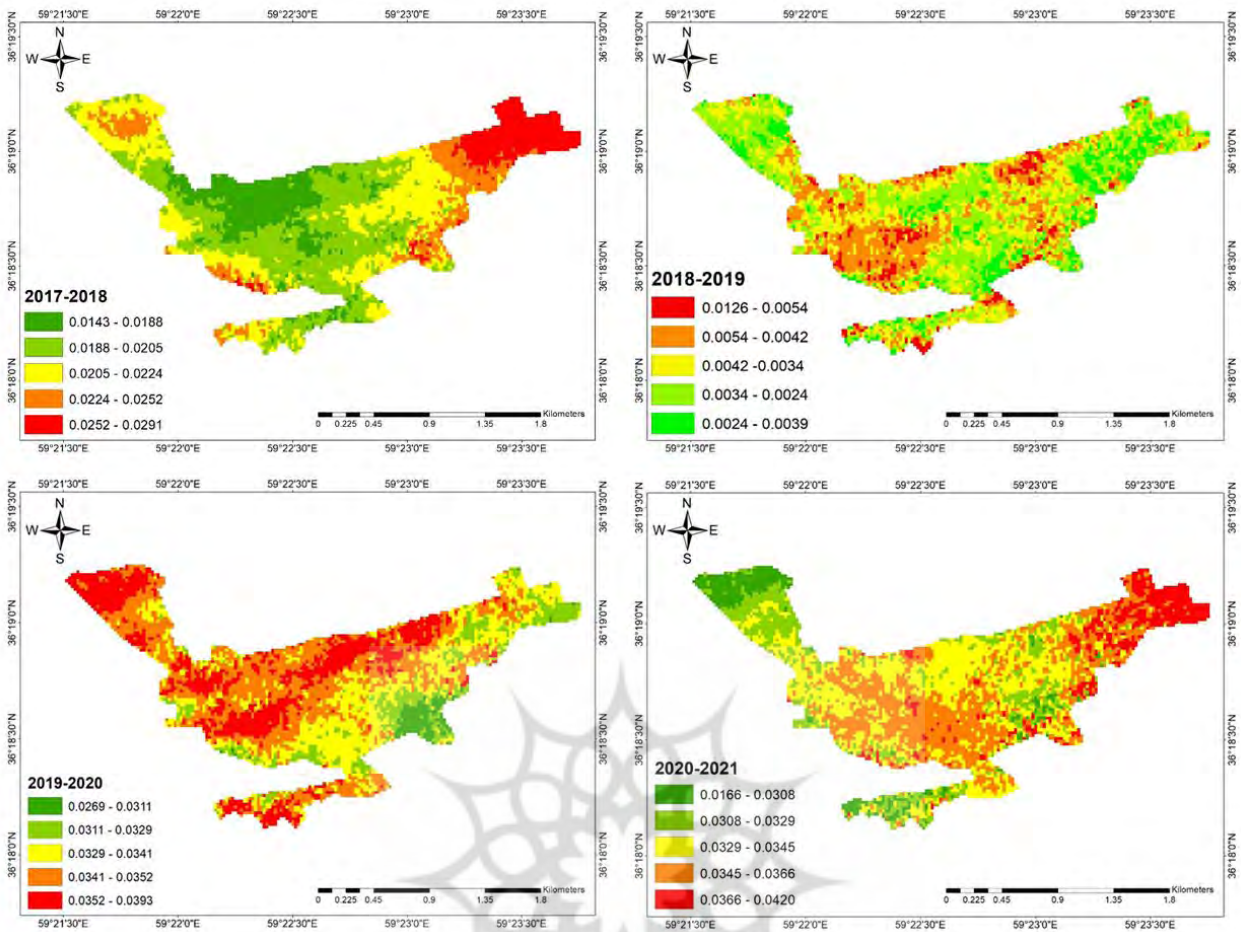
جدول ۱: مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده

شماره	تاریخ تصویر	فرمت تصویر	حالت تصویربرداری	گذر تصویربرداری	خط مبنا (متر)
۱	۲۰۱۷/۰۱/۱۷	Slc	Iw	صعودی	۱۶۳ تا ۱۱۰
۲	۲۰۱۸/۰۱/۲۵	Slc	Iw	صعودی	۱۶۳ تا ۱۱۰
۳	۲۰۱۹/۰۲/۲۲	Slc	Iw	صعودی	۱۶۳ تا ۱۱۰
۴	۲۰۲۰/۰۱/۱۰	Slc	Iw	صعودی	۱۲۹ تا ۱۱۰
۵	۲۰۲۱/۰۱/۱۲	Slc	Iw	صعودی	۱۲۸ تا ۳۳

منبع: نویسندگان ۱۴۰۳

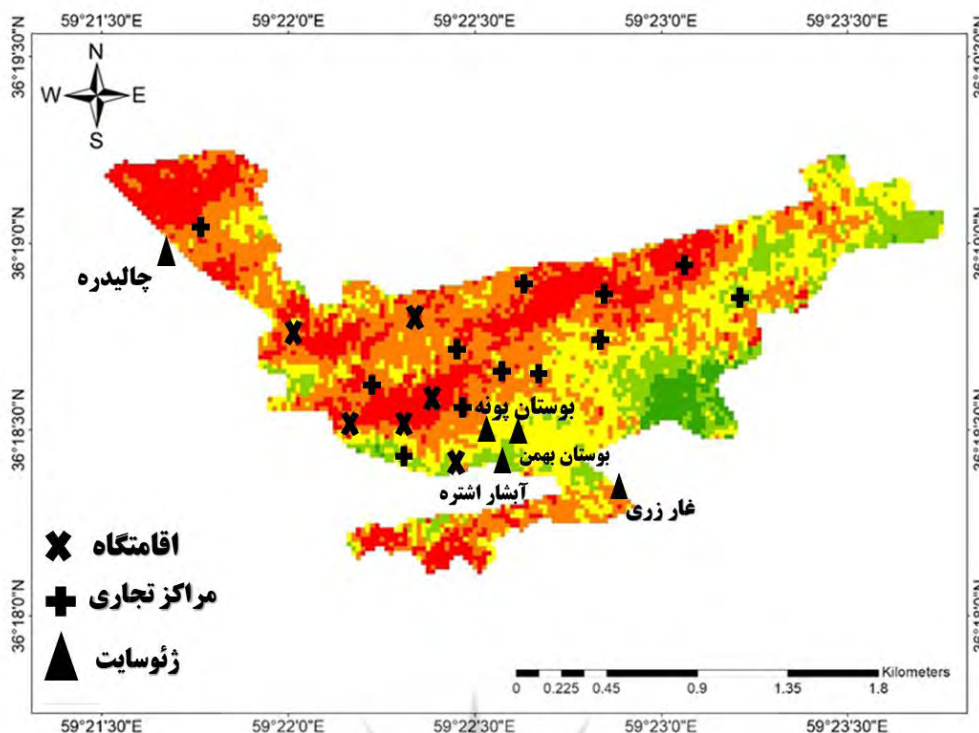
یافته‌ها

در بررسی‌های انجام شده با تصاویر راداری SLC ماهواره سنتینل ۱ در رابطه با شهر طرهبه ۵ تصویر به صورت دو به دو در نرم افزار envi مورد پردازش قرار گرفت که تصویر سال، ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸، ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، و تصویر ۲۰۱۹ با ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۰ بررسی شد و میزان فرونشست‌های ثبت شده برای هر دوره به ترتیب ۲ سانتی‌متر برای ۲۰۱۷-۲۰۱۸، برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۹ حدود ۱ سانتی‌متر، ۳ سانتی‌متر برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰ و ۴ سانتی‌متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱ بدست آمد. همانطور که در شکل ۲ ارائه شده است در بازه ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ بیشترین میزان فرونشست منطقه ۲ سانتی‌متر و در محدوده شمال شرقی شهر می‌باشد هرچه به سمت غرب شهر پیش می‌رویم منطقه ثبات بیشتری پیدا می‌کند. در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ میزان فرونشست سالانه منطقه ۱ سانتی‌متر می‌باشد و در تمام مناطق شهر رخ داده که نسبت به سال قبل منطقه فرونشست کاهش داشته است. میزان فرونشست کاهش یافته و در مناطق بیشتری پخش شده است. فرونشست سالانه ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ نسبت به سال‌های قبل افزایش داشته و ۳ سانتی‌متر است و پهنه فرونشست بسیار وسیع است به طوری که تقریباً تمام محدوده شهر را دربر گرفته است. بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ میزان فرونشست منطقه نسبت به سال گذشته افزایش داشته و ۴ سانتی‌متر می‌باشد که این میزان فرونشست شمال شرق منطقه مشاهده می‌شود.



شکل ۲: تغییرات فرونشست از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ (ماخذ نگارندگان)

در شکل ۳ موقعیت مکانی ژئوسایت‌ها و اقامتگاه‌ها و مراکز تجاری شهر طبقه آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اکثر مکان‌های گردشگری در محدوده خطرپذیری فرونشست زمین قرار دارند. از آنجایی که شهر طبقه یکی از مناطق گرسرپذیر است برای جلوگیری از خطر پیش‌بینی شده لازم است تا اقدامات اساسی صورت گیرد.



شکل ۳: موقعیت ژئوسایها و مکانهای گردشگری منطقه

نتیجه گیری

در این مقاله فرونشست زمین در شهر طرهبه در طول دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ با استفاده از تکنیک‌های سری زمانی InSAR بررسی شد. طبق نتایج به دست آمده میزان فرونشست در طول ۴ دوره آماری در منطقه مورد مطالعه ۱۰ سانتی‌متر به دست آمد. میزان فرونشست‌های ثبت شده هر دوره به ترتیب ۲ سانتی‌متر برای ۲۰۱۷-۲۰۱۸، برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۹ حدود ۱ سانتی‌متر، ۳ سانتی‌متر برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰ و ۴ سانتی‌متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱ بدست آمد. بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین میزان فرونشست در مناطق شمال از شمال شرق تا شمال غرب شهر طرهبه اتفاق افتاده است. بیشتر مناطق گردشگری منطقه در محدوده بحرانی واقع شده و در معرض خطر هستند. این امر باعث تخریب شدن مکان‌های گردشگری و در نتیجه کاهش گردشگری پذیردگی طرهبه می‌شود. بنابراین ضروری است سازمان‌ها و نهادهای متولی با اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های مناسب، پیش از وقوع بحران درصدد کاهش هر گونه آسیب به سکونتگاه‌های انسانی، جمعیت و زیرساخت‌های موجود در این مناطق باشند. از طرفی قسمت شمالی شهر طرهبه جزو مناطق بحرانی و حساس از نظر مخاطره فرونشست است. افزایش جمعیت و نیاز بیش از پیش آن‌ها به آب از یک طرف و همچنین ساخت و سازهای بی‌رویه برای برطرف کردن نیاز جمعیت جدید، از طرف دیگر افزایش دما، خشکسالی‌های متوالی و احتمال تداوم آن در سال‌های آینده عواملی برای استفاده هر چه بیشتر آب‌های زیرزمینی است که خود باعث رخداد فرونشست در سطح وسیع‌تر می‌شود.

از راهکارهای موثر برای جلوگیری از فرونشست زمین میتوان اشاره کرد به: تغییر الگوی مصرف آب به روش های بهینه؛ شامل بهبود کارایی سیستم های آبیاری، استفاده از روش های صرفه جویی در مصرف آب و یافتن آب جایگزین مانند بازیافت آب که می تواند به حفظ آب های زیرزمینی و جلوگیری از فرونشست زمین کمک کند. حفظ منابع طبیعی نظیر جنگل ها، باتلاق ها و سایر زیستگاه ها، احداث مناطق حفاظت شده و اجرای قوانین سختگیرانه در مورد تخریب محیط زیست می تواند از نابودی و آسیب دیدن منابع طبیعی جلوگیری کند. استفاده از تکنولوژی های مدرن در احداث ساختمان ها و زیرساخت مانند استفاده از سیستم های ارتفاع سنجی GPS در ساخت و سازها می تواند دقت بیشتری در تسطیح و اجرای آنها ایجاد کند. آموزش عمومی مردم و اطلاع رسانی درباره اثرات نامطلوب فرونشست زمین شامل آموزش در مورد روش های صرفه جوی در مصرف آب، حفظ منابع طبیعی و مدیریت منابع می تواند در ایجاد آگاهی و پایداری به اقدامات جلوگیری موثر باشد. ارزیابی و نظارت مداوم بر فعالیت های مختلف می تواند به تشخیص مشکلات زمین شناسی و زمین شناسی فرونشستی که شامل مطالعات کامل زمین شناسی، نظارت بر نقاط مستعد فرونشست زمین و ارایه راهکارهای مناسب برای جلوگیری از آن است. هرچند که جلوگیری کامل از فرونشست زمین ممکن نیست، اما با بهره گیری از راهکارهای مناسب و پیروی از اصول بهینه سازی، می توان از حداقل سوءتاثیر فرونشست زمین بر محیط زیست و جامعه جلوگیری کرد. برای اجرای این راهکارها، همکاری بین دولت، سازمان های مردم نهاد و جامعه بسیار حائز اهمیت است.

منابع

- ابراهیم پور، حبیب؛ نعمتی، ولی؛ نظافت تکلّه، بهروز. (۱۴۰۱). بررسی توانمندی های ژئوتوریستی استان اردبیل با استفاده از مدل کوبالیکوا و مدل فیولت: مطالعه موردی نیر، نمین، سرعین. جغرافیا و روابط انسانی، ۵(۳)، ۱۶۱-۱۴۴.
- اکبریان، محمد. (۲۰۲۱). ارزیابی اثرات زیست محیطی توسعه ژئوتوریسم در جزیره هرمز. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۱۰(۱)، ۲۰-۳۹.
- آقایاری، لیلا؛ عابدینی، موسی؛ اصغری سراسکانرود، صیاد. (۱۴۰۰). برآورد میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و پارامترهای آب های زیرزمینی و کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت اردبیل). سال یازدهم، شماره ۱، ۱۱۷-۱۳۲.
- سعادت فر، رضا؛ زنگنه اسدی، محمدعلی؛ گلی مختاری، لیلا. (۱۴۰۰). اهمیت زمین گردشگری و پیشنهادی برای ژئوپارک: یک اولویت در اقتصاد منطقه شمال غرب نیشابور-خراسان رضوی. دوفصلنامه توسعه پایدار محیط جغرافیایی، ۳(۴)، ۵۸-۷۲.
- سلیمانی، خدیجه؛ عامریون، مهدی؛ سلیمانی، زیبا. (۲۰۲۳). آموزش برای توسعه گردشگری پایدار با تأکید بر آموزش مجازی. جغرافیا و روابط انسانی، ۵(۳)، ۵۲-۴۴.

شاهدی نیری، مینا؛ شجاعی، علی؛ انصاری گبلو، اکبر. (۱۴۰۱). اولویت‌بندی مناطق نمونه گردشگری استان اردبیل با توجه به پتانسیل جذب با رویکرد توسعه پایدار گردشگری. جغرافیا و روابط انسانی، ۴(۴)، ۶۵۳-۶۳۷.

عابدینی، موسی. (۱۳۹۶). مبانی فرونشست زمین، مخاطرات هیدروژئومورفولوژی و مدیریت محیط. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، چاپ یکم.

عابدینی، موسی؛ آقایی، لیلا؛ اصغری سراسکانرود، صیاد. (۱۴۰۱). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرونشست با استفاده از الگوریتم تطبیقی MBAC و ANP (مطالعه موردی: دشت اردبیل). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۴۴)، ۶۸-۴۳.

عابدینی، موسی؛ همتی، طاهر؛ نظافت تکه، بهروز؛ خیاطی، آیلار. (۱۴۰۱). ارزیابی توانمندی‌های توسعه گردشگری پایدار ژئومورفوسایت‌ها با استفاده از مدل کومانسکو و مدل پائولووا (مطالعه موردی: مسیر توریستی سبالن تا گردنه حیران). فصلنامه جغرافیایی فضای گردشگری، ۱۱(۴۴)، ۱۹-۳۸.

محمدآبادی، صدیقه؛ نژادحسینی، رقیه؛ گنجائیان، حمید. (۱۴۰۲). تحلیل عوامل موثر در وقوع فرونشست دشت قهاوند با استفاده از تصاویر راداری و ماهواره‌ای. جغرافیا و روابط انسانی، ۵(۴)، ۵۵۳-۵۴۲.

محمودی، پیمان؛ علیجانی، بهلول. (۱۳۹۶). مدل‌بندی رابطه بارش‌های سالانه و فصلی با عوامل زمین اقلیم در کردستان. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳(۳۱)، ۹۳-۱۱۲.

مدنی، حسن؛ شفیقی، سیروس. (۱۳۹۶). زمین‌شناسی عمومی. انتشارات دانشگاه امیر.

مقصودی، مهران؛ گنجائیان، حمید؛ صفدری، المیر؛ عبادی‌الملکی، میلاد. (۱۳۹۸). شناسایی و ارزیابی پایش ژئوسایت‌های استان زنجان و ارزیابی تاثیر آن بر توسعه گردشگری پایدار. فصلنامه مطالعات مدیریت گردشگری، ۱۴(۴۸)، ۱۷۸-۱۴۹.

محبی تفرشی، غزاله؛ نخعی، محمد؛ لک، راضیه. (۱۴۰۰). ارزیابی دقت مدل هیبرید برنامه‌ریزی بیان ژن-منطق فازی در برآورد خطر رخداد فرونشست زمین و عوامل موثر بر آن (مطالعه موردی: آبخوان ورامین). علوم زمین، ۳۱(۱۱۹)، ۱۶۳-۱۷۶. SID. <https://sid.ir/paper/962766/fa>

جوکار سرهنگی، عیسی؛ اسماعیلی، رضا؛ مرتضایی، نرگس. (۱۳۹۶). تحلیل عوامل موثر بر تشکیل و گسترش بدلندها در حوضه ماملو، جاجرود. فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۰(۳۸)، ۸۱-۹۴.

بهرامی، سمیه؛ بذرافشان، ام‌البنین. (۱۳۹۶). عوامل موثر بر فرونشست زمین در دشت میناب. چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران <https://civilica.com/doc/58984>.

شاهدی نیری، مینا؛ شجاعی، علی؛ انصاری گبلو، اکبر. (۱۴۰۱). اولویت‌بندی مناطق نمونه گردشگری استان اردبیل با توجه به پتانسیل جذب با رویکرد توسعه پایدار گردشگری. جغرافیا و روابط انسانی، ۴(۴)، ۶۵۳-۶۳۷.

خرمی، محمد؛ ابریشمی، سعید؛ مقصودی، یاسر. (۱۳۹۸). تعیین فرونشست شهر مشهد به روش تداخل سنجی راداری پراکنشگر دائمی. مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۱(۶)، ۱۲۰۴-۱۱۸۷. SID. <https://sid.ir/paper/1037863/fa>

حسین زاده، سیدرضا؛ اکبری، ابراهیم؛ جوانشیری، مهدی؛ محمدپورسنگانی، زینت. (۱۴۰۱). تحلیل فضایی فرونشست سطح زمین با استفاده از تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی: دشت مرکزی شهرستان قاین). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۴)، ۱۲۶-۱۱۶. doi: 10.22067/geoeh.2022.75138.1169۹۹

فتوحی، صمد؛ المدرسی، سیدعلی؛ دلارام، رقیه. (۱۴۰۲). بررسی میزان فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری (D-InSAR) در دشت نهبندان-سهل آباد. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۴(۲).

Agustan, A., Sulaiman, A., & Ito, A. (2016). Measuring deformation in Jakarta through long term synthetic aperture radar (SAR) data analysis. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 47, No. 1, p. 012022). IOP Publishing.

Arora, K., Rajput, S., & Anand, R. (2020). Geomorphosites assessment for the development of scientific geotourism in north and middle Andaman's, India. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 32(4), 1244-1251.

Bahrami, S., & Bazarafshan, U. A. (2016). Factors affecting land subsidence in Minab Plain. In *4th International Conference on Environmental Planning and Management*, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran. [In Persian]

Berred, S., Berred, K., & Fadli, D. (2022). Geodiversity of Kingdom of Morocco: Tata Province geomorphosites inventory for creating a geopark project (Anti-Atlas). *International Journal of Geoheritage and Parks*, 10(3), 367-382. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2022.07.001>

Bhattarai, R., Alifu, H., Maitiniyazi, A., & Kondoh, A. (2017). Detection of land subsidence in Kathmandu valley, Nepal, using DInSAR technique. *Land*, 6(2), 39-54.

Braholli, E., & Menkshi, E. (2021). Geotourism potentials of geosites in Durrës municipality, Albania. *Quaestiones Geographicae*, 40(1), 63-73. <https://doi.org/10.2478/quageo-2021-0005>

Brilha, J. (2015). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, 8, 119-134.

Cocean, G., & Cocean, P. (2017). An assessment of gorges for purposes of identifying geomorphosites of geotourism value in the Apuseni Mountains (Romania). *Geoheritage*, 9(1), 71-81.

Chen, B., Gong, H., Chen, Y., Li, X., Zhou, C., Lei, K., ... & Zhao, X. (2020). Land subsidence and its relation with groundwater aquifers in Beijing Plain of China. *Science of the Total Environment*, 735, 139111.

De Graaf, I. E., Van Beek, R. L., Gleeson, T., Moosdorf, N., Schmitz, O., Sutanudjaja, E. H., & Bierkens, M. F. (2017). A global-scale two-layer transient groundwater model: Development and application to groundwater depletion. *Advances in Water Resources*, *102*, 53-67.

Du, Z., Ge, L., Ng, A. H. M., Zhu, Q., Yang, X., & Li, L. (2018). Correlating the subsidence pattern and land use in Bandung, Indonesia with both Sentinel-1/2 and ALOS-2 satellite images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *67*, 54-68.

Galloway, D. L., & Burbey, T. J. (2011). Regional land subsidence accompanying groundwater extraction. *Hydrogeology Journal*, *19*(8), 1459.

Guo, J., Zhou, L., Yao, C., & Hu, J. (2016). Surface subsidence analysis by multi-temporal InSAR and GRACE: A case study in Beijing. *Sensors*, *16*(9), 1495.

Jeanne, P., Faar, T. G., Rutqvist, J., & Vasco, D. W. (2019). Role of agricultural activity on land subsidence in the Joaquin Valley, California. *Journal of Hydrology*, *569*, 462-469.

Goorabi, A., Karimi, M., Yamani, M., & Perissin, D. (2020). Land subsidence in Isfahan metropolitan and its relationship with geological and geomorphological settings revealed by Sentinel-1A InSAR observations. *Journal of Arid Environments*, *181*, 104238.

Ho, D. T. D., Tran, C. Q., Nguyen, A. D., & Le, N. D. (2016). Measuring ground subsidence in Hanoi city by radar interferometry. *Science and Technology Development Journal*, *19*(2), 122-129.

Koh Banani, H., Yazdani, M., & Hosseini, S. (2018). Land subsidence risk zoning using radar interferometry (case study: Kashmer plain and Khalil Abad). *Desert Management Magazine*, *7*(3), 66-75. [In Persian]

Mehrnour, S., Robati, M., Kheirkhah Zarkesh, M. M., Farsad, F., & Baikpour, S. (2023). Land subsidence hazard zoning in Hashtgerd Plain based on Integrated Multi-Criteria Decision-Making Approach: WOI-BWM. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *11*(4), 127-148.

Mahato, M. K., & Jana, N. C. (2021). Exploring the potential for development of geotourism in Rarh Bengal, Eastern India using M-GAM. *International Journal of Geoheritage and Parks*, *9*(3), 313-322.

Nazmfar, H., & Shirzad Khrjan, M. (2022). Surface subsidence monitoring with radar interference technique (study area: Meshgin plain). *Journal of Natural Environmental Hazards*, *11*(31), 25-48. doi: 10.22111/jneh.2022.35138.1687

Roohi, M., Faeli, M., Irani, M., & Shamsaei, E. (2021). Calculation of land subsidence and changes in soil moisture and salinity using remote sensing techniques. *Environmental Earth Sciences*, *80*, 4-23.

Tamang, L., Mandal, U. K., Karmakar, M., Banerjee, M., & Ghosh, D. (2023). Geomorphosite evaluation for geotourism development using geosite assessment model (GAM): A study from

a Proterozoic terrain in eastern India. *International Journal of Geoheritage and Parks*, *11*(1), 82-99.

Tesfa, C., & Zewdie, M. M. (2023). Assessment and map of geotourism potential sites in Amhara Regional State, Northwestern Ethiopia. *International Journal of Geoheritage and Parks*, *11*(4), 634-651.

Torani, M., Agh Atabai, M., & Raushiti, M. A. (2017). The study of subsidence in the west of Golestan province using the interferometric method, radar. *Journal of Geographical Survey of Space*, *8*(27), 117-127. [In Persian]

Zhang, Y., Wang, Z., Xue, Y., Wu, J., & Yu, J. (2016). Mechanisms for earth fissure formation due to groundwater extraction in the Su-Xi-Chang area, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *75*(2), 745-760.

