

## استخراج و ارزیابی اثرات پدیده‌های ژئومورفولوژیک ناشی از فرونشست در دشت دامغان

محمد شریفی کیا\* - استادیار گروه سنجش‌ازدور، دانشگاه تربیت مدرس  
عباسعلی افضلی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس  
سیاوش شایان - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۱۵      تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۵/۱۹

### چکیده

فرونشست زمین به‌عنوان پدیده‌ای مورفولوژیک است و ظهور طیف وسیعی از عوارض مورفولوژیک پیامد از آن همانند ایجاد درز و ترک در سازه‌ها؛ تغییر در شکل و هندسه سطحی زمین از جمله عمومی‌ترین رخنمون‌های قابل‌رؤیت ناشی از فرونشست است. پدیده‌های مورفولوژیک ناشی از رخداد فرونشست به سبب فراگیری فضایی و همچنین حدوث کند و بطئی آن در عین خسارت‌بار بودن؛ وجوه خارجی چندان مشخصی نداشته و به سهولت قابلیت شناسایی و درک ندارد. از همین رو در این تحقیق به منظور یافتن الگوی فرونشست زمین در دشت دامغان، ابتدا نرخ و دامنه فرونشست، طی دوره‌های زمانی ۶ ماهه و ۱ ساله با بهره‌گیری از داده‌های راداری دو سنجنده ASAR و PalSAR به کمک تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری استخراج شد که نتایج حاکی از حدوث فرونشستی سالانه ۱۴ سانتیمتر بوده است. به‌منظور استخراج اثرات پدیده‌های ژئومورفولوژیک ناشی از فرونشست، هسته‌های در حال فرونشست با نرخ و دامنه فضایی آن از طریق تداخل‌نگارهای تولیدی استخراج شد. همچنین برای درک بهینه ظهور پدیده‌های ژئومورفولوژیک؛ عوارض سطحی به سه دسته سطح، خط و نقطه تقسیم و بسته به الگوی فضایی تأثیرگذاری فرونشستی، از هسته تا لبه‌ها؛ نقاط کنترل زمینی در هریک از این دسته‌ها بر روی تصاویر انتخاب و اقدام به پی‌جویی آن‌ها در سطح محدوده گردید. نتایج حاصل از این پیمایش، مؤید شناسایی و ثبت عوارضی چون گسیختگی‌های طولی (عمدتاً در لبه‌ها و مرز هسته‌های فرونشست)؛ فرونشستی شعاعی و ایجاد فروچاله بخصوص در مسیر قنوات؛ و دگرگون شدن چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد. توأماً قرارگیری تأسیساتی چون راه‌ها، خط آهن و قنوات و همچنین مساکن در طول این گسیختگی‌ها رؤیت؛ و تغییرات ثبت شد؛ و عقیم شدن اراضی زراعی و کاهش ظرفیت آبخوان دشت به‌عنوان اثرات محیطی فرونشست معرفی گردید.

واژگان کلیدی: زمین‌لغزش، منطقه جوارنود، مدل فرایند محور.

## مقدمه

فرونشست زمین به‌عنوان پدیده‌ای مورفولوژیک، نوعی از تغییر شکل سطح زمین است که با دگرشکلی عمودی و یا حرکت رو به پایین سطح زمین (گلوپر<sup>۱</sup>، ۱۹۸۹: ۴۹؛ استفان<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱: ۲) و همچنین نشست تدریجی یا دفعی (فروریزی) مواد سطحی همراه است (استفان، ۲۰۱۱: ۲). در حالت منطقه‌ای، این پدیده شامل فروریزش یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابه‌جایی افقی اندکی نیز باشد (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۷). رخ داد این پدیده از هر نوع (دفعی یا تدریجی) می‌تواند با دخالت عوامل طبیعی و یا انسانی همچون تغییرات نوع کاربری زمین همراه باشد (گالووی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۱: ۲۵۷۳). مهم‌ترین علت فرونشست منطقه‌ای سطح زمین، در حوضه‌های رسوبی مناطق خشک و نیمه‌خشک، تراکم سفره‌های آب زیرزمینی در اثر پمپاژ بی‌رویه از این منابع است (پاخکو<sup>۴</sup> و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶: ۱۵۸). لشکری پور و همکاران<sup>۶</sup>، ۱۳۸۷: ۹۸، شریفی کیا<sup>۷</sup>، ۱۳۹۰: ۵۹). این وضعیت به‌ویژه درجایی که پمپاژ بی‌رویه از سفره‌های آبدار ماسه‌ای متخلخل که به‌صورت بین لایه‌ای با لایه‌های آبدار رسی نفوذناپذیر قرار دارد بسیار حاد بوده و موجب فرونشست گسترده می‌گردد (لیو<sup>۸</sup> و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۶: ۲۰۰۶، اقتباس از لشکری پور، ۱۳۸۷: ۹۸). پدیده فرونشست می‌تواند اثرات مورفولوژیک سطحی همچون؛ بی‌نظمی‌های مورفولوژیکی، خسارت به تأسیسات انسان‌ساخت (ساختمان، بزرگراه‌ها، خیابان‌ها و معابر) و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۰: ۱۲۳)، باند فرودگاهی، شبکه آبرسانی بخش کشاورزی، و اثرات زیرسطحی مانند کاهش حجم آبخوان‌ها (کلاتون و آموبوری<sup>۱۱</sup>، ۱۹۷۵: ۱۵۱) اختلال در الگوی جریان‌های هیدرولوژیک (بارندز و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۱۹۹۵: ۱۸)، تداخل آب‌شور و شیرین و تخریب مستحذات زیرسطحی (همچون قنوات، شبکه‌های آبرسانی مدرن، شبکه سوخت و آبرسانی؛ تونل‌های شهری و معادن مخاطره‌زایی و تشدید خطرپذیری (شریفی کیا، ۱۳۹۱: ۵۸) را به دنبال داشته باشد.

در مطالعاتی همچون پژوهش هیو<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۰۴) در شانگهای چین؛ اری<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۱) در شهر ایراپواتو مکزیکو، رامیرو<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲)؛ و همچنین پروژه‌ای تحقیقاتی در شهر گانده در کشور استرالیا توسط کی<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات سطح در ارتباط با اثرات پدیده فرونشست مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در ایران مطالعه پدیده فرونشست به سبب فراگیری فضایی آن مورد توجه طیف وسیعی از محققان قرار گرفته، مطالعات نسبتاً زیادی صورت گرفته است (شریفی کیا ۵۸: ۱۳۹۰). در عین حال مطالعه در خصوص شناسایی و استخراج اثرات پدیده فرونشست کمتر مورد توجه بوده و محققان محدودی به آن پرداخته‌اند (پاکروان، ۱۳۸۴، کمک پناه، ۱۳۸۵، اسلامی زاده و همکاران، ۱۳۸۹). مطالعه استخراج پدیده‌های ژئومورفولوژیک ناشی از مسئله فرونشست زمین به لحاظ ابزار شناسایی تا حدودی زیادی هم‌عرض با موضوع تشخیص و شناسایی نرخ و دامنه فرونشست بوده که در ایران عمدتاً متوجه تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری است (مناق و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۰۸: ۱۰۲۹؛ اشرفیانفر و همکاران<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۰: ۲۰۱۰؛ شریفی کیا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹: ۵۹؛ دهقانی و همکاران<sup>۲</sup>،

1. Gloppe

2. Stephen

3. Galloway et al

4. Pacheco

5. Liu

6. Chen et al

7. Clanton and Amsbury

8. Barends

9. Hu

10. Eray

11. Ramiro

12. kay

13. Motagh, et.al

14. Ashrafianfar, et.al

۲۰۱۰: ۱۱۸, دهقان سورکی ۱۳۹۰, شمشکی, ۱۳۸۴, فتوت اسکندری, ۱۳۸۷, مصلحی, ۱۳۸۹, جنت, ۱۳۸۸). این روش علاوه بر تعیین دامنه فضایی فرونشست امکان معرفی نرخ الگوی توزیع فضایی آن را دارد. فرم فضایی خاص اراضی در معرض فرونشست (نشست کاسه‌ای) امکان مناسبی از درک و شناسایی الگوی استقرار و زایش پدیده‌های ژئومورفولوژیکی را فراهم آورده، زیرساخت و ابزار مناسبی برای تحدید فضایی و تسهیل بررسی پیمایشی در جهت اندازه‌گیری و ثبت این پدیده‌ها را معرفی می‌نماید.

### منطقه مورد مطالعه

دشت دامغان در استان سمنان واقع در طول ۵۴ ۱۰ تا ۵۴ ۴۰ شرقی و عرض ۳۶ ۰۰ تا ۳۶ ۱۰ شمالی (شکل ۱) از نظر تقسیمات حوزه‌ای در حوزه‌ی آبریز دشت کویر (شهریار خالدي، ۱۳۸۱: ۵۰) قرار گرفته است. و از منظر ژئومورفولوژیک این دشت واحد پیکرشناسی وسیع و نسبتاً همواری است که تقریباً از اطراف وسیله گسل‌های متعدد در ارتباط با کوهستان‌های حاشیه‌ای قرار گرفته است. گردنه‌های کم ارتفاع و وسیعی ارتباط این دشت را با سایر چاله‌های مجاور برقرار می‌سازد. شیبی بسیار ملایم و همگرا به سمت کویر چاه جام (حاج علی‌قلی) در مرکز دشت دارد. به همین دلیل عبور آب‌های سطحی و زیرزمینی به سمت مرکز چاله به آرامی انجام می‌شود. تبخیر شدید این آب‌ها به‌ویژه در فصل گرم محدوده وسیعی از مرکز و شمال دشت را به نم‌نزار تبدیل کرده است (محمودی، ۱۳۶۸: ۴۵).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

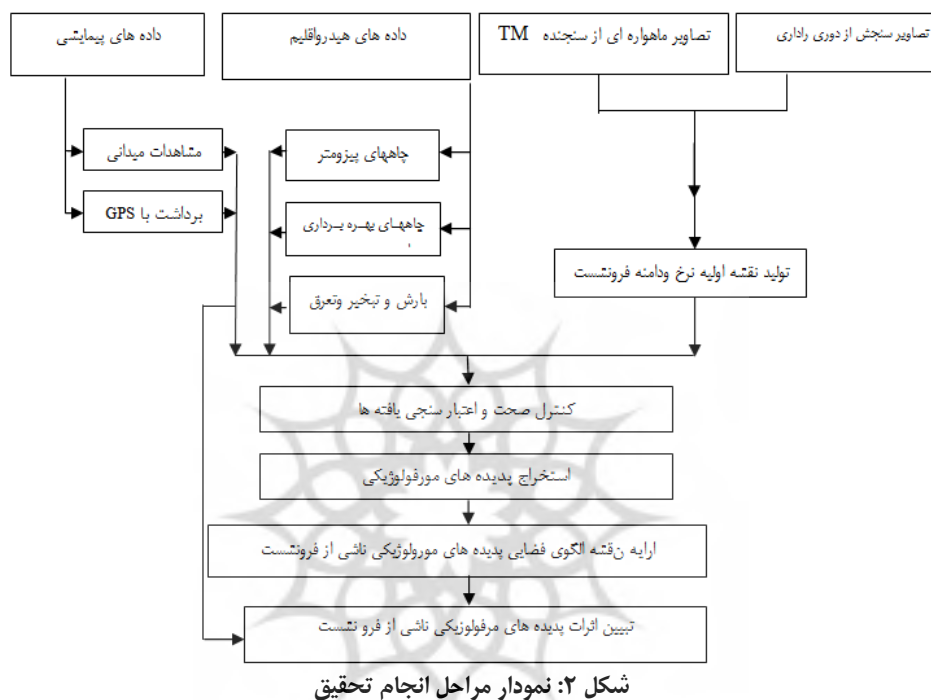
### داده و روش تحقیق

روش انجام این تحقیق آزمایشگاهی - پیمایشی و تحلیلی - استدلالی است. بدین منظور ابتدا داده‌های مربوط به چاه‌های منطقه از جمله پراکندگی، برداشت سالانه، تغییرات پیزومتر، نوع مصرف، مقاطع (لوگ)؛ و همچنین داده‌های اقلیمی (از قبیل: بارش، دما) و همچنین داده‌های ژئوهیدرولوژیک منطقه جهت ارزیابی محیطی و تبیین

<sup>1</sup>. Sharifikia

<sup>2</sup>. Dehghani et.al

زیرساخت‌های منتج به فرونشست، جمع‌آوری و پردازش گردید. سپس برای تشخیص نرخ و دامنه فرونشست اقدام به پردازش تصاویر راداری به کمک تکنیک تداخل سنجی راداری در بازه‌های زمانی سالانه و ماهانه گردید. یافته‌های این مرحله از طریق عملیات پیمایشی اعتبار سنجی و سپس اقدام به پیمایش و پی‌جویی میدانی رخنمون و شواهد ژئومورفولوژیک ناشی از فرونشست در عرصه‌های تعیین‌شده گردید. ارزیابی و سنجش اثرات این پدیده‌ها در شرایط ژئومورفولوژیک و هیدرولوژیک منطقه فرجامین امور در این تحقیق را در برداشته است (شکل ۲).



برای انجام این تحقیق از مجموعه داده‌های ذیل استفاده شد:

الف) تصاویر سنجش از دوری، مشتمل بر داده‌های SAR از دو ماهواره ALOS و سنجنده PALSAR طی دوره ۱۲ ماه (۲۰۱۰/۰۱/۰۷\_۲۰۱۱/۰۱/۱۰) مربوط به کشور ژاپن و داده‌های ماهواره ENVISAT و سنجنده ASAR طی دوره ۶ ماه (۲۰۱۱/۰۹/۲۴\_۲۰۱۱/۰۳/۲۸) از سازمان فضایی اروپا طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱ و تصاویر ماهواره‌ای از سنجنده TM مربوط به سال ۲۰۱۱.

ج) داده‌های ژئوهیدرولوژیکی و هواشناسی سازمان مدیریت منابع آب ایران و سازمان هواشناسی کشور.

د) داده‌های لیتولوژی سطحی و زیرسطحی مستخرج از نقشه زمین‌شناسی و نیمرخ لیتولوژی چاه‌های مشاهده‌ای.

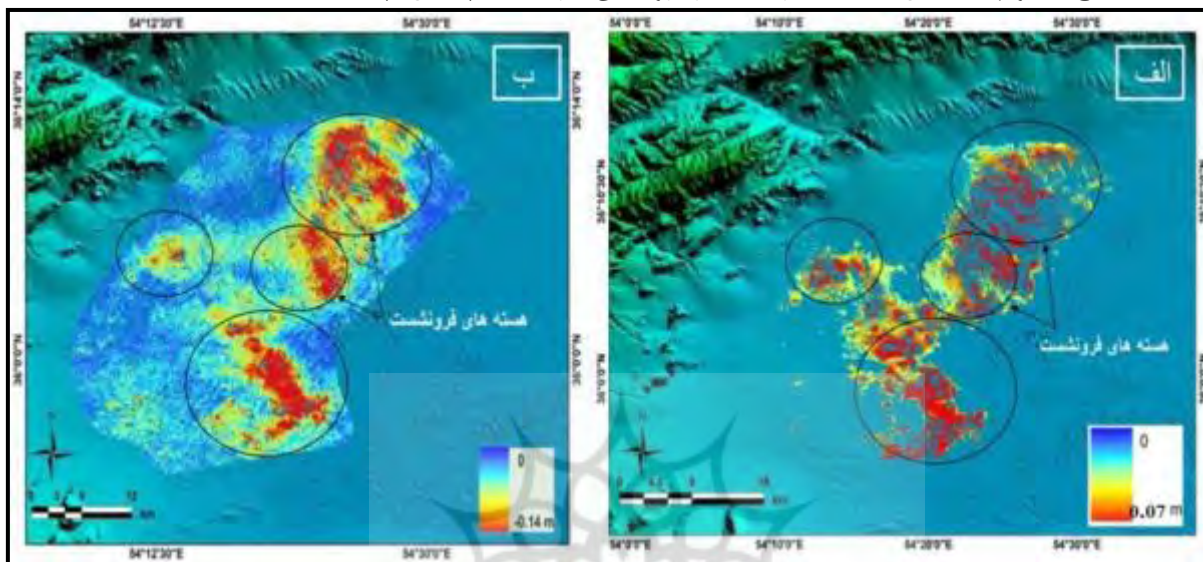
ه) داده‌های پیمایشی جمع‌آوری‌شده از طریق اندازه‌گیری و مشاهدات میدانی.

### استخراج نرخ و دامنه فرونشست

جهت انجام این کار تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری مورد استفاده قرار گرفت. این تکنیک بر روی داده‌های سنجنده ASAR در دوره زمانی ۶ ماهه (۲۴/۰۹/۲۰۱۱-۲۶/۰۳/۲۰۱۱) و سنجنده PALSAR در دوره زمانی یک‌ساله (۲۰۱۰/۰۱/۰۷\_۲۰۱۱/۰۱/۱۰) به‌طور مستقل اعمال گردیده؛ یافته‌ها به لحاظ نرخ و دامنه فضایی اراضی در معرض فرونشست با یکدیگر مقایسه شد.

بدین منظور، ابتدا با استفاده از داده‌های راداری سنجنده PALSAR در باند L و طول‌موج ۲۳.۵ سانتی‌متر و با بهره‌گیری از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی، نرخ و دامنه فرونشست استخراج و مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت.

سپس به منظور بهبود دقت زمانی - مکانی و سنجش تغییرات ارتفاعی در بازه زمانی و طول موج کوتاه‌تر، داده‌های سنجنده ASAR در باند C با طول موج ۵.۶ سانتی‌متر به شیوه فوق پردازش و نهایتاً دو تداخل‌نگار فازی مستقل، تهیه گردید. با پردازش داده در تمام مراحل بر اساس الگوریتم از پیش تعریف‌شده، تداخل‌نگار فازی تبدیل به نقشه فازی اصلاح‌شده و نهایتاً مبدل به نقشه معرف مقادیر فرونشینی متریک شد ( شکل ۳).



شکل ۳: الگوی فضایی نرخ و دامنه فرونشست الف: یافته از سنجنده ASAR ب: یافته از سنجنده PalSAR

یافته‌های این مرحله مبین معرفی عرصه فضایی و نرخ فرونشست نسبتاً مشابه در داده هر دو سنجنده است. بر پایه طبقه‌بندی نقشه‌های فرونشست مستخرج از تحلیل داده‌های سنجنده‌های ASAR و PalSAR، مقادیر حداکثری مساحت در سنجنده PalSAR مربوط می‌گردد به طبقات میانی و تا حدودی طبقات حداقلی فرونشست؛ چنانکه مساحت پهنه‌های فرونشست حداکثری در این سنجنده برابر است با ۰/۴ کیلومترمربع و پهنه‌ای برابر ۲۷۳ کیلومترمربع دربرگیرنده فرونشستی برابر با ۱-۴ سانتیمتر است. در سنجنده ASAR نیز مقادیر حداکثری مساحت متعلق است به طبقات فرونشینی حداقلی به طوری که پهنه‌ای برابر ۷۶۷ کیلومترمربع دربردارنده فرونشستی به میزان ۰-۱ سانتیمتر است (جدول ۱).

جدول ۱: مساحت طبقات فرونشست بر اساس داده‌های سنجنده‌های ASAR و PalSAR

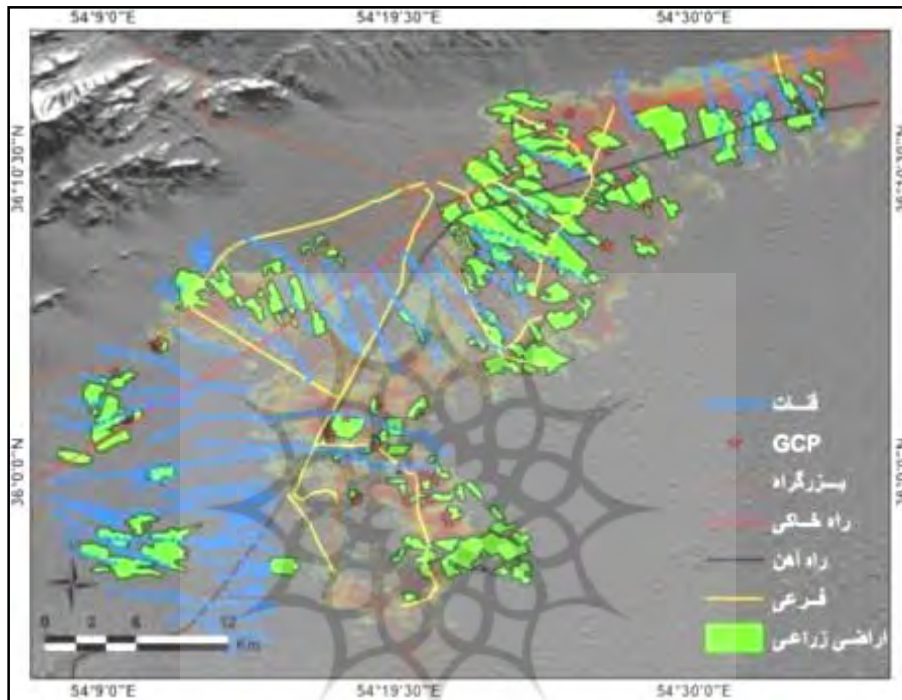
طبقات	ASAR/Cm	مساحت / Km <sup>2</sup>	PalSAR/Cm	مساحت / Km <sup>2</sup>
۱	۰-۱/۱	۷۶۷/۳	۰-۱	۳۸۷/۲
۲	۱/۱-۱/۶	۶۹/۳	۱-۲	۲۷۳/۳
۳	۱/۶-۲/۴	۴۵/۶	۲-۴	۱۳۸/۶
۴	۲/۴-۳	۱۶/۱	۴-۷	۴۶
۵	۳-۷	۰/۳	۷-۱۴	۰/۴

### استخراج پدیده‌های مورفولوژیک ناشی از فرونشست

بروز پدیده‌های مورفولوژیک متأثر از مسئله فرونشست زمین در اغلب موارد واجد عرصه فضایی محدود و رخنمون‌های بسیار کوچک بوده که پی‌جویی و استخراج آن از طریق داده‌های دورسنجی در شرایط فعلی به سهولت میسر نیست. در این تحقیق به منظور استخراج پدیده‌های ژئومورفولوژیک ناشی از فرونشست زمین، مرزها و هسته‌های فرونشینی با

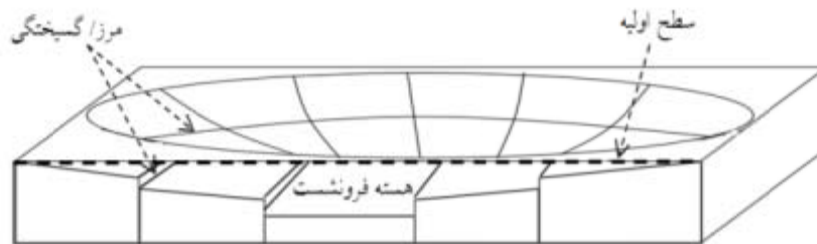


استفاده از تصاویر تداخل نگار و نقشه عرصه فرونشینی مستخرج از پردازش داده‌های راداری، مشخص و نقاط موردنظر (در هسته‌ها و لبه‌ها) برای اعتبارسنجی میدانی بر روی این تصاویر جانمایی و سپس به کمک GPS این نقاط بر روی زمین پی‌جویی شدند. در همین ارتباط ۲۹ نقطه کنترل زمینی<sup>۱</sup> (GCP) در کل منطقه مورد مطالعه انتخاب شده و بر روی زمین مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت (شکل ۴). نقاط به‌صورتی انتخاب شدند که تمام عوارض انسان‌ساخت که احتمال اثرپذیری از فرونشست در آن‌ها می‌رود را در بر گرفته و سعی شد این نقاط واجد الگوی توزیع فضایی منطبق بر گستره فرونشینی باشند (شکل ۴).



شکل ۴: انتخاب عوارض در ارتباط با نقاط کنترل زمینی

به جهت آنکه در مناطق تحت تأثیر رخداد فرونشینی با نرخ متفاوت عموماً نوع پاسخ سطح به پدیده فرونشست در مرکز و لبه‌ها به مقدار یکسان و تابع فرم و حالت مشابه نیست (Mancini et al., 2009: 382; Gayarre et al., 2010: 271)، تلاش گردید، نقاط مورد پیمایشی میدانی از برداری خطی از لبه تا هسته در حال فرونشینی را شامل شود (شکل ۷). به بیان دیگر پیمایش میدانی از لبه به سمت مرکز هسته (شکل ۵) با برداری خطی تعیین و نقاط حساس و آسیب‌پذیر مورد بررسی و مشاهده قرار گرفته، در موارد حدوث اثرات مورفولوژیکی، مقادیر و فرم فضایی آن؛ پیمایش و اندازه‌گیری شد.



شکل ۵: نمای کلی یک هسته فرونشست و لبه‌های با فرونشینی تفریقی

<sup>۱</sup> GCP: Ground Control Point

پدیده‌های مورد پی‌جویی در این تحقیق مشتمل بر شکستگی سطوح مستحکم بر اثر قرارگیری بر مرز و لبه فرونشینی و گسیختگی ساختاری (شکست، جابجایی، ریزش و...) در سازه‌های مستقر بر دیواره و هسته عرصه در معرض فرونشینی بود.

### یافته تحقیق

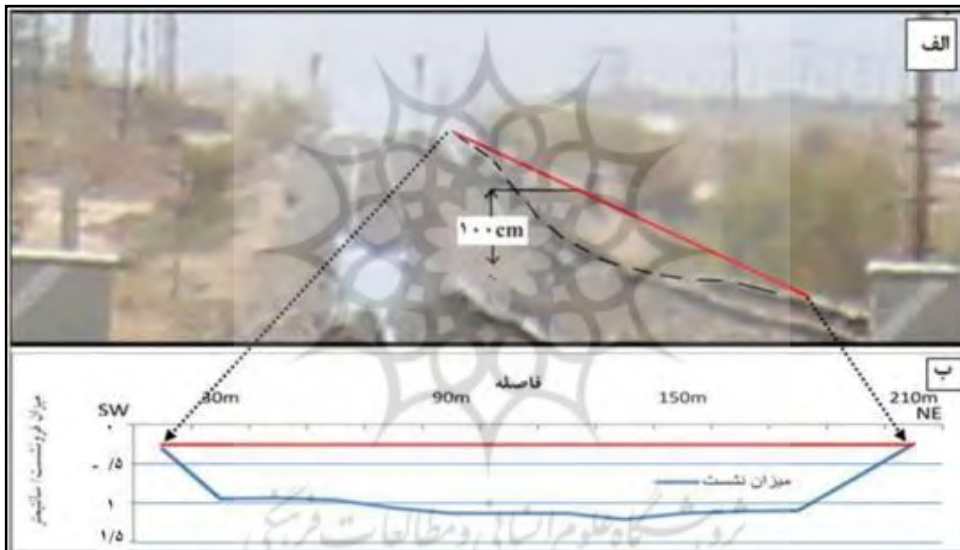
رخنمون‌های مورفولوژیکی ناشی از پدیده فرونشست عموماً در عوارض انسان‌ساز اثرگذار بوده و یا حداقل اثر آن در این عوارض ماندگاری زمانی طولانی‌تری به نسبت عوارض طبیعی دارد. بر این اساس در این تحقیق اثرگذاری پدیده فرونشست در عوارض انسان‌ساز در فرم تبیین تأثیرپذیری زیرساخت‌ها از پدیده فرونشست مورد بررسی قرار می‌گیرد. سنجش این اثرات در عوارض طبیعی به سبب عدم تطابق زمان وقوع با زمان مشاهده و تحول‌پذیری آن به سهولت میسر نگردید. زیرساخت‌های مورد بررسی برای تبیین اثرپذیری از رخداد فرونشست به سه دسته اصلی تقسیم شدند:

**الف: زیرساخت‌هایی که دارای الگوی خطی اند؛** زیرساخت‌های واجد الگوی خطی در محدوده مورد مطالعه عمدتاً مشتمل بر شبکه ارتباطی (بزرگراه، جاده‌های آسفالت‌ه؛ راه‌های دسترسی؛ راه‌آهن)؛ تأسیسات زیرسطحی (قنوات؛ لوله‌های گاز و مواد سوختی مایع؛ شبکه‌های انتقال آب) تأسیسات کشاورزی (کانال‌های انتقال آب در مزارع؛ آبگیرها؛ دیواره‌های بین مزارع) است. فرم فضایی این عوارض می‌تواند موجب گذر مکرر عارضه از لبه‌های فرونشینی شود. این چنین عوارضی بسته به ساختار و جنس، واکنش‌های متفاوتی به تغییرات سطح زیرین نشان خواهند داد. بطوریکه در صورت داشتن ساختاری پیوسته و غیرقابل انعطاف، تخریب در ساختار و در صورت دارا بودن ویژگی‌های ساختاری منعطف، خمیدگی و انحناء عمده‌ترین فرم‌پذیری آن از رخداد فرونشست خواهد بود. با توجه به اینکه عوارض فوق‌الذکر عموماً در بخش‌های شمالی (اراضی واجد مقادیر حداقلی فرونشینی) استقرار دارند، رخداد فرونشست تأثیرگذاری فراگیری بر روی آن‌ها نداشته است. نتایج حاصل از تحلیل‌های مکانی مبتنی بر روی هم گذاری عوارض خطی و نقشه عرصه و مقادیر فرونشست مؤید عدم تأثیرپذیری بخش عمده‌ای از این عوارض است. بطوریکه در نقشه عرصه و مقادیر فرونشست مستخرج از تصاویر سنجنده ASAR (که واجد دوره زمانی کوتاه و گستره فضایی محدود است)؛ بیش از ۶۸ درصد از مجموعه طول عوارض خطی خارج از عرصه‌های فرونشینی قرار گرفته و تنها نزدیک به ۳۲ درصد از طول این عوارض در پهنه‌های با فرونشینی ۴ میلی‌متر تا حداکثر ۱۶ میلی‌متر استقرار دارند. این ارقام برای نقشه عرصه و مقدار فرونشینی مستخرج از تصاویر سنجنده PalsAR به سبب گستره فضایی و دوره زمانی یک‌ساله تا حدود زیادی متفاوت بوده است. یافته مؤید استقرار قریب به ۶۳ درصد مجموع طول عوارض خطی در نواحی در معرض فرونشست با مقادیر حداقل ۱ تا حداکثر ۳۵ میلی‌متر است (جدول ۲).

در این بین؛ عوارضی چون جاده آسفالت‌ه و راه‌آهن مورد بررسی و بازدید میدانی و پی‌جویی اثرپذیری از رخداد فرونشینی قرار گرفتند که نتایج این پیمایش مؤید تأثیرپذیر تخریبی این عوارض از این پدیده است. قرارگیری خط آهن در عرصه در معرض فرونشینی و خاصیت ارتجاعی این زیرساخت، هرچند منجر به گسیختگی و تخریب نشده، لیکن انحنای رخ داده در ریل در پیمایش میدانی قابل مشاهده و همچنین قابل درک است (شکل ۶). از سوی دیگر، گذر لبه فرونشست از جاده‌های آسفالت‌ه به دلیل خاصیت و ساختار غیر منعطف آن منجر به شکستگی و گسلش سطحی گردیده که این موضوع موجب ایجاد اختلاف ارتفاع در طرفین خط گسیختگی و تعمیر و بازسازی مکرر آن در برخی نقاط شده است. بررسی‌های میدانی در بخش مرکزی ناحیه و در مسیر عبوری (دامغان به منطقه مزرعه یحیی) مؤید رخداد گسلش و فروافتادگی پر دامنه‌ای است که اندازه‌گیری‌های پیمایش، میزان آن را حدود ۵۰ سانتی‌متر تعیین نمود (شکل ۷).

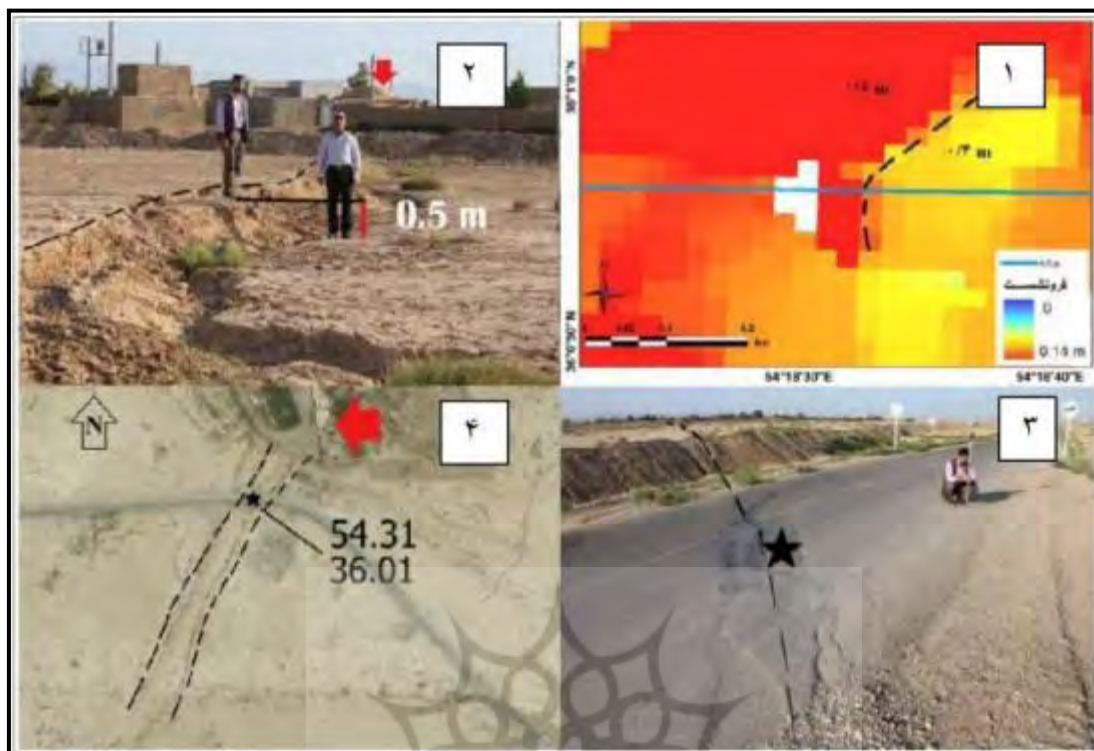
جدول ۲: فرونشست در ارتباط با عوارض و زیرساخت‌های خطی

PalSAR		ASAR	
طول / درصد	فرونشست / سانتیمتر	طول / درصد	فرونشست / سانتیمتر
۳۷/۲	۰/۰	۶۸/۳	۰/۰
۳۱/۵	۱/۰	۸/۶	۰/۴
۲۱/۳	۱/۵	۲۰/۷	۰/۵
۹/۵	۲/۵	۲/۳	۱/۱
۰/۵	۳/۵	۱/۶	۰/۱



شکل ۶: با توجه به ساختار و جنس خط آهن، واکنش نسبت به فرونشست ایجاد انحنایی با طول ۲۱۰ متر عمق تقریبی ۱۰۰ سانتیمتر در آن است

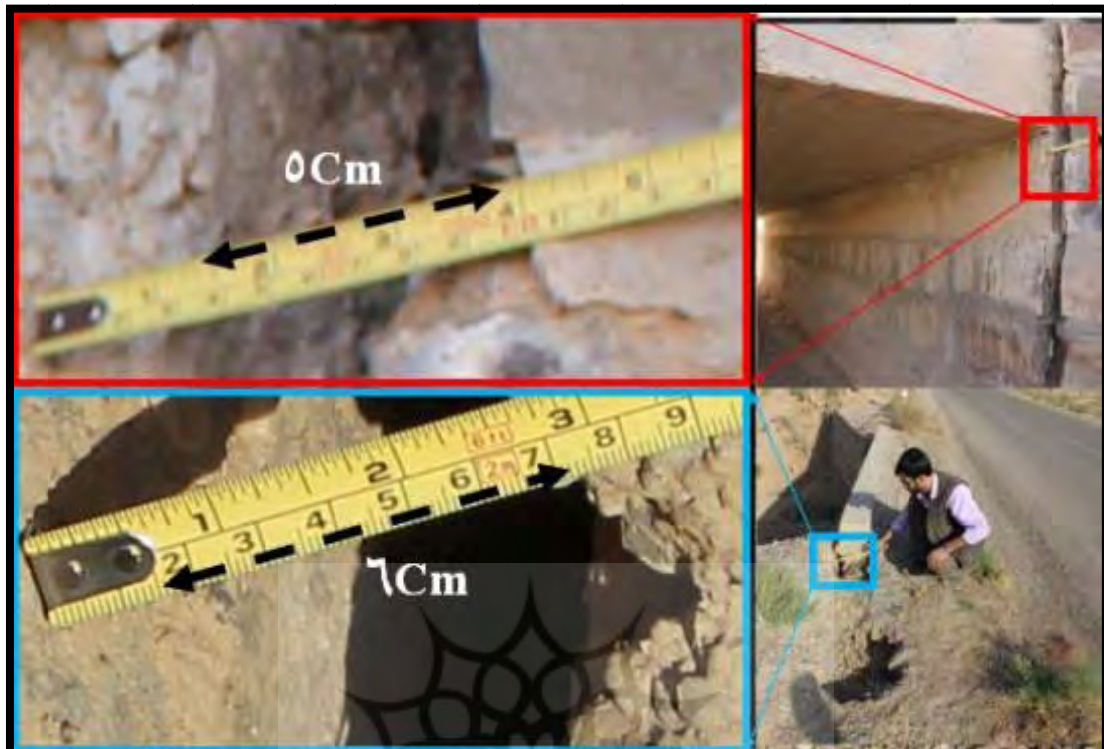




شکل ۷: گذر لبه فرونشینی از جاده آسفالتی و ایجاد اختلاف ارتفاع در جاده و زمین‌های حاشیه‌ای (۱). محل لبه فرونشست در تداخل نگار (۲) ایجاد فروافتادگی واضح در لبه فرونشینی (۳) گذر لبه فرونشینی از جاده آسفالتی و ایجاد تخریب و بارزسازی (۴) الگوی فضایی گسیختگی در تصویر ماهواره‌ای (تصویر از سایت گوگل).

**ب: عوارض پهنه‌ای؛** دسته‌ای از عوارض در منطقه، نه از الگوی خطی پیروی کرده و نه از حیث مقیاس مطالعه، دارای ویژگی‌های نقطه‌ای‌اند. این دست عوارض که گاهی از چند متر تا چند صد مترمربع را در برمی‌گیرند با عنوان عوارض پهنه‌ای و یا شعاعی در نظر گرفته شده‌اند. این دست زیرساخت‌ها عمدتاً گستردگی چندانی در ابعاد طولی و عرضی نداشته و از نمونه‌های آن می‌توان مساکن، زمین‌های کشاورزی، پل‌ها، ایستگاه‌های سوخت‌رسانی، کارخانجات و کارگاه‌ها را ذکر نمود. به دلیل تمرکز فرونشست در بخش جنوبی محدوده مورد بررسی و با توجه به استقرار اکثریت سازه‌های فوق در بخش‌های شمالی، رصد اثرات ناشی از تغییرات سطح زمین در سازه‌هایی با چنین ابعاد نیازمند دقت نظر زیاد در انتخاب نقاط کنترل زمینی دقیقی بود.

پل‌ها یکی از اصلی‌ترین عوارض پهنه‌ای متأثر از رخداد فرونشست در محدوده مورد مطالعه‌اند. این سازه‌ها به علت ساختار پیوسته و شکننده عمدتاً دچار شکستگی در دیواره‌ها و سقف و در برخی موارد گسیختگی شده‌اند که مقادیر آن به ۵ الی ۶ سانتی‌متر نیز بالغ می‌گردد (شکل ۸ و ۹).



شکل ۸: گسیختگی بین دیواره و سقف پل از ابنه راه (آسفالته) دامغان به منطقه مزرعه یحیی) متأثر از وقوع در عرصه در حال فرونشینی به شرح شکل ۱۱



شکل ۹: امتداد مسیر راه آسفالته و مکان قرارگیری پل مذکور در شکل ۸ بر روی نقشه عرصه در معرض فرونشست

سازه‌های مسکونی و تأسیساتی از دیگر عوارض پهنه‌ای آسیب‌پذیر در برابر رخداد فرونشست‌تر سطح محدوده مورد مطالعه‌اند. اثرپذیری این سازه‌ها در فرم ایجاد درز و ترک و یا ریزش دیوار به کرات مشاهده گردید؛ که در هسته‌های اصلی فرونشینی از شدت افزون‌تری برخوردار بودند (شکل ۱۰).





شکل ۱۰- ایجاد گسیختگی در سازه‌های انسان‌ساز: الف) ایجاد ترک عمود بر سازه به علت قرارگیری در لبه فرونشست. ب) ایجاد ترک افقی بر بدنه دیوار به علت قرارگیری در مرکز هسته فرونشست

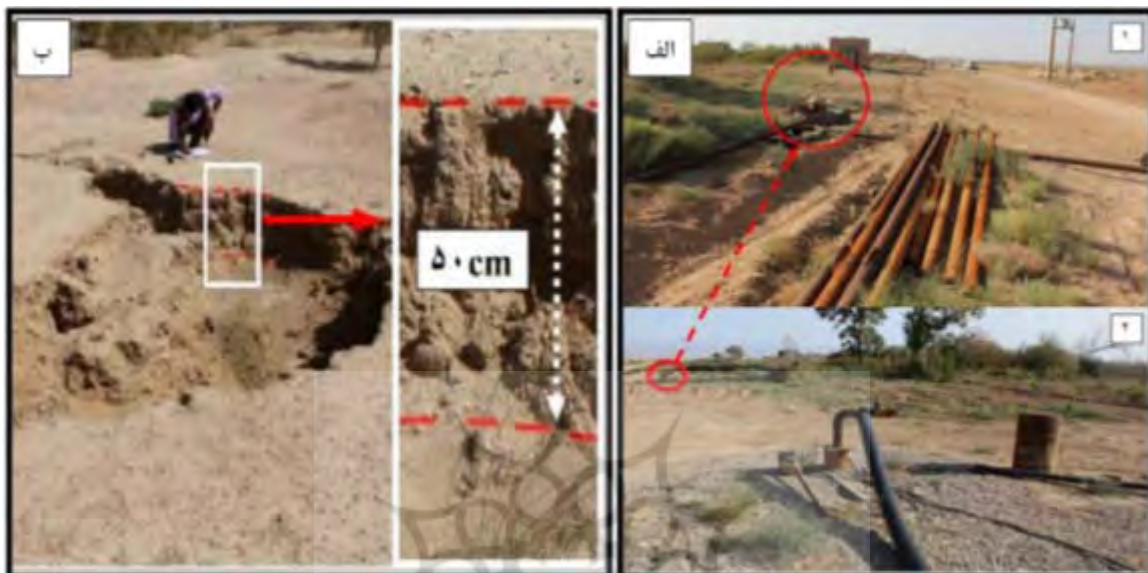
تاسیسات تولیدی به خصوص زیرساخت‌های کشاورزی از دیگر عوارض واجد الگوی فضایی پهنه‌ای است که از پدیده فرونشست متأثر شده است. پیمایش میدانی در سطح محدوده مورد مطالعه مؤید رخداد ترک‌های طولی و پیرامنه (شق) در اراضی تحت بهره‌برداری، شکستگی مکرر تأسیسات آبرسانی (انهار) و تخریب سازه‌های مستقر در این اراضی (انبار و ...) است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- تأثیرپذیری زیرساخت‌های کشاورزی و زراعی از فرونشست زمین: الف) ۱- فرونشست در ارتباط با زمین‌های زراعی نقطه ۲- فرونشست در ارتباط با زمین‌های زراعی و راه - ب) تغییر مکان چاه به علت تخریب جدار و آسیب دیدگی تأسیسات چاه و کاهش میزان آبدهی: ۱- مکان اولیه چاه به همراه تأسیسات تخریب شده. ۲- مکان جدید چاه

ج: فرونشست در ارتباط با زیرساخت‌های نقطه‌ای: اگرچه این عوارض نیز دارای الگوی هندسی خطی‌اند، اما کشیدگی آن‌ها در جهت افق نبوده بلکه الگویی قائم دارند. عوارضی همانند چاه‌های آب، میله قنوات، دکل‌های برق و تلفن و ایستگاه‌های گیرنده و فرستنده مخابراتی و... در محدوده مورد مطالعه در زمره عوارض نقطه‌ای متأثر از پدیده فرونشست

قرار دارند. این عوارض اگرچه در دید عمودی دارای هندسه نقطه‌ای‌اند، ولی در عمق (چاه، میله قنات) و ارتفاع (دکل برق) دارای مؤلفه طولی‌اند. مبتنی بر همین ویژگی، بررسی و سنجش تاثیرپذیری آن در بردار افقی و عمودی موردتوجه قرار گرفته و در این موارد عکس‌العمل‌هایی همانند تخریب جدار، برآمدگی میله، تخریب تأسیسات (در چاه و قنات) (شکل ۱۲) و کج شدگی (دکل‌های برق) قابل ذکر است.



شکل ۱۲: الف: تغییر مکان چاه به علت تخریب جدار و آسیب‌دیدگی تأسیسات چاه و کاهش میزان آبدهی: (۱) مکان اولیه چاه به همراه تأسیسات تخریب شده. (۲) مکان جدید چاه ب: فرونشست در ارتباط با پشته قنات

### اثرات محیطی فرونشست

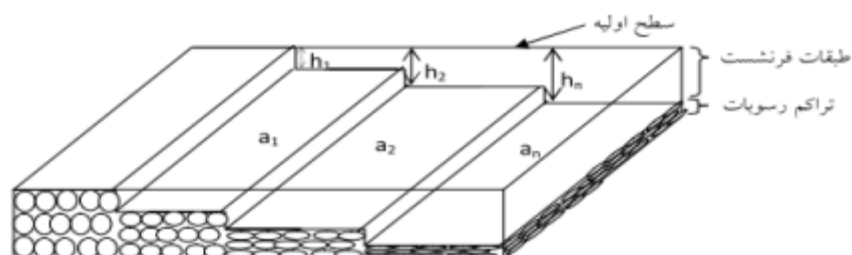
فرونشست اگرچه پیامد فشردگی سطوح زیرین خاک است لیکن خود معرف حدوث و پیامد ناگوار زیست‌محیطی در افق آبی می‌باشد. فشردگی سطوح زیرین و افت تراز ایستابی در حوضه‌های واجد منابع آب زیرزمینی، کاهش حجم و فضای نگاهداشت آب را به دنبال خواهد داشت. به بیان ساده‌تر کاهش مخزن آب زیرزمینی پیامد منطقی حدوث پدیده فرونشست است. این مهم می‌تواند توانمندی عرصه فضایی مبتلا را به‌صورت زیرساختی تغییر داده و خسارت غیرقابل جبرانی را پیامد داشته باشد. همزادی مکانی پدیده فرونشست با عرصه‌های فضایی بیابانی، محیط‌زیست شکننده آن را عمیقاً متأثر می‌سازد، بطوریکه با افت و تعدیل حجم مخزن، زیرساخت مکانی برای نگاهداشت منابع ذی‌قیمت آب زیرزمینی تعدیل و در مواردی تخریب شده و امکان بهبود آن حتی در صورت فراهم شدن شرایط مساعد هیدرولوژیکی (فراوانی نزولات و امکان تزریق آن به سفره) به‌طورجدی آسیب خواهد دید. در این تحقیق اندازه‌گیری میزان تغییرات حجم مخزن از طریق معکوس مقادیر افت سطحی اندازه‌گیری شده است. یافته‌های تحقیق در زمینه مقادیر فرونشست و الگوی فضایی آن به همراه تحلیل فضایی آن در فرم عرصه‌های فضایی (طبقات فرونشست) با مقادیر متفاوت فرونشینی (شکل ۱۳) و همچنین اعمال رابطه ۱، امکان محاسبه میزان افت ظرفیت مخزن و سفره آبی را فراهم آورد. یافته‌ها مؤید افت سالانه ۱۶.۱ میلیون مترمکعبی حجم مخزن در عرصه‌های واجد فرونشست است. این روند می‌تواند خسارت جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست و منابع ارزشمند آن وارد ساخته؛ افق پرتنشی را پیش روی ساکنین و بخصوص بهره‌برداران کشاورزی قرار دهد.

$$(h_1 \times a_1) + (h_2 \times a_2) + \dots + (h_n \times a_n) \quad (1)$$

مساحت پهنه فرونشست =  $a_1 \dots a_n$

$$(h_1 \times a_1) + (h_2 \times a_2) + \dots + (h_n \times a_n)$$

$h_1 \dots h_n$  = عمق یا مقادیر فرونشست



شکل ۱۳: رابطه فرونشست و ظرفیت آبخوان؛  $h_1 \dots h_n$ : ارتفاع فرونشینی؛  $a_1 \dots a_n$ : مساحت پهنه فرونشست

### نتیجه‌گیری

عرصه فضایی میانی دشت دامغان درگیر پدیده فرونشست با نرخ حداکثری ۱۴۰ میلی‌متر است. این عرصه عمدتاً متمرکز بر اراضی زراعی و به‌طور پراکنده، برخی سکونتگاه‌های روستایی بوده و مسکن شهری در حاشیه پهنه‌های در حال فرونشینی قرار گرفته‌اند. حدوث عارضه فرونشست در محدوده موردبررسی و استقرار گروه متنوعی از زیرساخت‌های عمرانی، کشاورزی و سکونتگاهی بستر لازم برای ظهور عوارض مورفولوژیکی در سه فرم اصلی عوارض خطی، نقطه‌ای و پهنه‌ای را به دنبال داشته است. تلفیق بررسی‌های آزمایشگاهی (پردازش داده) و بررسی‌های پیمایشی و میدانی قابلیت مناسبی از پی‌جویی و استخراج عوارض مورفولوژیکی ناشی از فرونشست را میسر ساخت. یافته‌های تحقیق روشن ساخت به سبب ویژگی‌های خاص این عوارض پی‌جویی فضایی و پیمایش آن می‌بایست با تدبیر خاص و مبتنی بر حرکت از لبه‌ها به‌طرف مرکز و هسته در حال فرونشست باشد. همچنین روشن گردید پیمایش غیر منسجم فضایی، دستیابی به برخی از عوارض خطی و نقطه‌ای که واجد عرصه فضایی‌اند را میسر نساخته؛ نارسائی فراوانی در درک و استخراج این سری از پدیده‌ها پیامد خواهد داشت. یافته‌های تحقیق روشن ساخت، اندازه‌گیری میدانی ابعاد و موقع ریاضی این پدیده‌ها به کمک ابزارهای دقیق (دوفرکانسه) و هم‌نهاد سازی این برداشت‌های پیمایشی با نقشه‌های خروجی (حاصل از پردازش تصاویر) امکان صحت‌سنجی و اطمینان بخشی ارتباط عارضه مشاهده با فرم‌های مختلف، با عرصه‌های در معرض فرونشست را فراهم می‌آورد. یافته تحقیق در زمینه تبیین اثرات زیست‌محیطی مسئله فرونشست به سبب اندک بودن دوره زمانی بررسی (یک سال) صرفاً به مسئله کاهش حجم مخزن متأثر از فشردگی آن پرداخته و در زمینه سایر عوارض و پیامدهای زیست‌محیطی به سبب بروز و ظهور آن‌ها در ابعاد زمانی چندین ساله مجال تحلیل و بررسی نیافت.

### منابع

- Abbasnezhad, A. 1377, environment geology conditions and problems study of Rafsanjan, Geological Society of Iran Conference Proceedings CD, Mashhad, pp 303-310
- Afshin, A. 1377, study of subsidence causes in Yazad-Ardakan plain, master of science in civil engineering, Sup: Ali komakpanah, TMU
- Akbari, S. Hadieh ghorbani, seddighe omidy. 1390, Assessing the effects of excessive ground water withdrawal on ground subsidence in Damghan, Fifth International Conference on Environmental Engineering, pp 1-6



- Amiry M. 1384, *The relation between stone floor of the sinkhole plains between famenin Kabudarahang*, *Journal of Earth Sciences*, No 58, pp 134-147
- Ashrafiyanfar ,N., Busch W., DehghaniM.Haghighatmehr P. 2010: *Differential SAR interferometric technique for land subsidence monitoring due to ground water exploitation in the Hasthgerd*, Proc. 'Fringe 2009 Workshop', Frascati, Italy,30 November – 4 December 2009 (ESA SP-677, March 2010)
- Barends F.B. J., Frits J. J., Brouwer, H .,Frans. Schroder .,1995.,*Proceedings of the Fifth International Symposium onLand Subsidence, held at The Hague, TheNetherlands*, No 234, pp,16-20 October
- Chen Chieh-Hung., Wang Chung-Ho., Hsu Ya-Ju., Yu Shui-Beih., Kuo Long-Chen., 2010. *Correlation between groundwater level and altitude variations in land subsidence area of the Choshuichi Alluvial Fan, Taiwan* , *Engineering Geology*,115, pp 122-131
- Chen, Y.Q., Zhang, G. B., Ding, X.L. and Li, Z.L, 2002.*Monitoring Earth Surface Deformations with InSAR Technology Principle and Some critical Issues*, *Journal of Geospatial Engineering*, Vol. 2, No. 1, pp. 3-21,
- Clanton, U.S., and Amsbury, D.L., 1975. *Active faults in southeastern Harris County, Texas: Environmental Geology*, v. 1,p p. 149–154.
- Cloetingh a, Yu.Y. Podlachikov a,b , 2000., *Perspectives on tectonic modeling, Tectonophysics* ,320 , pp169–173
- Dehghani M., ValadanZoej M.J., Entezam I., Saatchi S., and Shemshaki A., (2010):*Interferometric measurements of ground surface subsidence induced by overexploitation of groundwater*, *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol4 ,doi:10.1117/1.3527999
- Eray .Can., Cetin . Mekik., Senol Kuscü., and Hakan Akçin , 2011.*Subsidence occurring in mining regions and a case study of Zonguldak-Kozlu basin.*, *Scientific Research and Essays* Vol. 6(6) , pp. 1317-1327, 18 March,
- Galloway .,2001. *geological subsidence interest group conference , proceeding of technical meeting , Galveston, Texas , November, pp 27-29*
- Galloway, D.L., Hudnut, K.W., Ingebritsen, S.E., Philips, S.P., Peltzer, G., Rogez, F., Rosen, P.A., 1998. *Detection of aquifer system compaction and land subsidence using interferometric synthetic aperture radar*, *Antelope Valley, Mojave Desert, Califor- nia. Water Resour. Res.* 34, pp 2573–2585.
- Gayarre. FL., Alvarez-Fernández. MI., González-Nicieza. C., Álvarez-Vigil AE., Herrera García .G .,2010.*Forensic analysis of buildings affected by mining subsidence*, *Eng. Failure Anal.*, 17(1) : pp270-285,
- Glopper, R.J. 1989. *Land subsidence and soil ripening. Flevobericht 306. Rijkswaterstaat, Directie Flevoland, Lelystad*, 49 p
- Gumilar .Irwan., Hasanuddin. zAbidin., Heri Andreas., Teghuh. P .,Sidiq, Mahmud gamal., 2012. *On mapping and evaluating the impact of land subsidence in bandung basin (indonesia)*, *TS09F-Risk management in planning and GIS* , 5638 , *Working week*
- Jannat, kobra. Akbare ghazifard, 1388, *Characteristics and causes of subsidence in the plain Golpayegan study usind D-InSAR and GIS*, *set of Proceedings of the First National Conference on Groundwater*, *behbahan*,1381
- Kay .Darly.,2012. *The management of mine subsidence: Effects, impacts and consequences*,*mine subsidence engineering consultants, Caroon Coal Project , Community Consultative Committee Presentation*,
- Khorsandy, aghae. 1385, *study The phenomenon of subsided ground Hamadan plain with different perspective*, *Proceedings of the Tenth Symposium of Geological Society of Iran*, *TMU*, pp 135-141
- Lashkaripoor, gholamreza. Reza ghafuory, mohammad Rostami, Hamidreza Barani, 1387, *land fractures and subsidence causes study in west of Kashmar plain*, *geological study*, Vol 1, No 1, pp 96-111



- Laurence C. Smith , 2002. *Emerging Application of Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) in Geomorphology and Hydrology*, *Annals of the Association of American Geographers* , 92, pp 359-398.
- Liu, C.W., Lin, W.S. & Cheng, L.H., 2006. *Estimation of land subsidence caused by loss of smectiteinterlayer water in shallow aquifer systems*. *Hydrogeology Journal*, 14:508-525.
- Mancini F., Stecchi F., Zanni M., Gabbianelli G., 2009. *Monitoring Ground Subsidence Induced by Salt Mining in the City of Tuzla (Bosnia and Herzegovina)*, *Environ. Geol.*, 58: 381-389 .
- Mahmoodi, 1386, *buildings and Damghan city, natural faces report, Faza pub*
- Moslehi, Ali, Akbare ghazifard, 1389, *land subsidence studu and subsidence disaster zonation in Kashan plain, Proceedings of the National Conference on Civil Engineering and Sustainable Development, Estahban, Islamic free university of Estahban,*
- Motagh M., Walter T. R., Sharifi M.A., Fielding E., Schenk A., Anderssohn J., and Zschau J. (2008): *Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation*, *Geophysical research letters*, VOL. 35, L16403, doi:10.1029/2008GL033814
- Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutis, V., & Ochoa, G., 2006. *Delimitation of ground failure zones due to land subsidence usind gravity data*
- Rahmanian , 1365, *land subsidence and fracturing because of water withdraw in kerman, water journal*, No 6, pp 35-42
- Ramiro Rodríguez., Jorge Lira and I. Rodríguez., 2012. *Subsidence risk due to groundwater extraction in urban areas using fractal analysis of satellite images*, *Geofísica Internacional*, 51-2: pp157-167
- Schoeneberger, P.J. and Wysocki, D.A., 1997. *Glossary of geology* , American Geological Institute, Alexandria, National Soil Survey Center, 4th Ed, p 769. ISBN 0-922152-34-9
- Shaarifikia, M. 2009: *D-InSAR Data Processing and Analysis for Mapping Land Subsidence Phenomenon in Rafsanjan Area, Iran M.Tech thesis* , submitted to Andra University - India
- Sharifikia, Mohammad, 1390, *assessing and extraction of subsidence dangerous in Tehran settled land, environmental disaster of Tehran, TM university*
- Sharifikia, Mohammad, 1390, *study of land subsidence affecte on Iran settlements, scientific journal of engeenering geology*, Vol 3, No 3-4, pp 43-58
- Sharifikia, Mohammad, 1391, *land subsidence rate and domain determine using D-InSAR in Noogh plain, Préparation and planning space, period 16, No 3, pp 55-78.*
- Shemshaki, amir. Entezami, 1381, *study of subsidence causes in Yazad-Ardakan plain, Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Iran*, pp 429-434
- Skandary, fotowat. Anahita, 1387, *statistica modeling of subsidence in shahriar plain, master of science, shahrud industry university, mine engineering, oil and geophysics,*
- Souraki, dehghan. 1390, *Determine the rate and extent of subsidence using DiInSAR in marand plain, master of science in Rs & GIS, TMU, Ad:sharifikia*
- Stephen, *Subsidence: Dissolution & Human Related Causes.*, 2011. *Natural Disasters*, Tulane University, pp 1-10
- Tamura, T. .,1969. *A series of micro-landform units composing valley-heads in the hills near Sendai. Sci. Repts. Tohoku Univ. 7th Ser. (Geogr.)*, 19 pp 117-127
- Tomás .R. ., Herrera. G .,Delgado J., Lopez-Sanchez, J.M. ., Mallorquí J.J. Mulas, J., 2010. *A ground subsidence study based on DInSAR data: Calibration of soil parameters and subsidence prediction in Murcia City (Spain)*, *Engineering Geology*, No111 ,pp19–30