

ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و سکونتگاه‌ها از پدیده فرونشست زمین در دشت دامغان

عباسعلی افزلی*، دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

محمد شریفی کیا، استادیار گروه سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

سیاوش شایان، استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

ارزیابی آسیب‌پذیری در ارتباط با رخداد فرونشست به سبب فراگیری فضایی و هم‌چنین حدوث کند و بطئی با وجود اثرات خسارت‌بار؛ به سهولت قابلیت شناسایی و درک ندارد. ارزیابی اثرات این پدیده نیازمند ابزار دقیق با قابلیت کاربرد در سطح فضایی گسترده است. از همین‌رو در این تحقیق به منظور یافتن الگوی فضای آسیب‌پذیری منتج از فرونشینی زمین در دشت دامغان، ابتدا نرخ و دامنه فرونشست، طی دوره زمانی ۶ ماهه با بهره‌گیری از داده‌های راداری سنجنده ASAR به‌کمک تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR) استخراج شد که نتایج حاکی از حدوث فرونشستی سالانه ۷ سانتی‌متر بوده است. به منظور استخراج آسیب‌پذیری سازه‌ها و مستحذات مستقر در محدوده مورد مطالعه ناشی از فرونشست، هسته‌های در حال فرونشست با نرخ و دامنه فضایی آن از طریق تداخل‌نگار تولیدی استخراج شد. برای درک بهینه و ارزیابی نظام مند آسیب‌پذیری؛ سازه‌ها و ساختارها به سه دسته سطح، خط و نقطه تقسیم و با روی هم‌گذاری هریک از لایه‌ها و پهنه‌های متشکل از طبقات سه گانه فرونشست، میزان خطرپذیری و میزان حدوث مقادیر فرونشست مربوط به انواع زیرساخت‌ها در محیط نرم افزاری مورد ارزیابی قرار گرفت. درقدم بعد؛ جهت راستی آزمایی یافته‌ها و بسته به الگوی فضایی تاثیرگذاری فرونشینی، در هریک از طبقات فرونشست؛ 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)؛ فرونشینی شعاعی و ایجاد فروچاله؛ و دگرگون شدن چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد. توأماً قرارگیری تأسیساتی چون راه‌ها و خط آهن و هم‌چنین مساکن در طول این گسیختگی‌ها رؤیت و تغییرات ثبت شد؛ و عقیم شدن اراضی زراعی و کاهش ظرفیت آبخوان دشت نیز به عنوان آسیب‌های محیطی فرونشست معرفی گردید.

واژگان کلیدی:

ژئومورفولوژی کاربردی، فرونشست، تداخل‌سنجی تفاضلی راداری، آسیب‌پذیری، دشت دامغان

مقدمه

آسیب‌پذیری^۱ به عنوان میزان آسیب منتج (۰ تا ۱۰۰ درصد) از پدیده‌های به ذات مخاطره‌آمیز می‌باشد (Charles, 2006: 2) و فرآیندی است که پایداری اجتماع را برای رویارویی و برخورد با رخدادهای کاهش می‌دهد (شریفی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۲۷). البته، ارزیابی آن گام مهمی در مدیریت مخاطرات محسوب می‌گردد (Hu, 2009: 269)؛ که در مراحل مقابله با خطر به عنوان گام سوم در نظر گرفته می‌شود (HSE, 2011: 2). در دهه‌های اخیر نیاز رو به رشدی نسبت به بررسی و تحلیل رفتارهای زمین به عنوان نظامی پویا چه در سطح و چه در زیر سطح در حال شکل‌گیری است (Cloetingh, 2000: 170). این رفتارها زمانی که منجر به بروز تغییرات در روند عادی زندگی بشر شده و ایجاد آسیب نماید از حساسیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود.

از مخاطراتی که بشر در دهه‌های اخیر به ویژه در دشتهای آبرفتی با آن دست به گریبان بوده فرونشست است. این پدیده به عنوان رفتار مورفولوژیک (Glopper, 1989: 49, USD 1974, Stephen, 2011: 2) و مخاطره‌آمیز سطح زمین منتج از عملکرد عوامل طبیعی و انسانی (Galloway et al., 2001: 2573)، ظهور طیف وسیعی از عوارض، همانند بی‌نظمی‌های مورفولوژیکی، خسارت به تأسیسات انسان ساخت (ساختمان، بزرگراه‌ها، خیابان‌ها و معابر (Chieh et al, 2010: 123)، باند فرودگاهی (Clanton & Amsbury, 1975: 151)، شبکه آبرسانی بخش کشاورزی، اثرات زیرسطحی مانند کاهش حجم آبخوان‌ها (Galloway et al, 1998; Chieh et al, 2010: 123; Clanton & Amsbury, 1975: 151) اختلال در الگوی جریان‌های هیدرولوژیک (Chen et al, 2010: 124) و تخریب مستحدثات زیرسطحی (همچون قنات‌ها، شبکه‌های آبرسانی مدرن، شبکه سوخت و آبرسانی؛ تونل‌های شهری و معادن (Thomas, 1983: 20) را می‌تواند به دنبال داشته باشد.

در مطالعاتی همچون پژوهش سان^۲ و همکاران (۱۹۹۹) در نیوجرسی جنوبی واقع در ایالات متحده آمریکا، هیو^۳ و همکاران (۲۰۰۴) در شانگهای چین؛ اری^۴ (۲۰۱۱) در شهر ایراپواتو مکزیکو، رامیرو^۵ و همکاران (۲۰۱۲)؛ و همچنین پروژهای تحقیقاتی در شهر گانده در کشور استرالیا توسط کی^۶ و همکاران (۲۰۱۲) و حوضه باندونگ اندونزی توسط گومیلار^۷ و همکاران (2012) اثرپذیری و واردآوری خسارت به سازها در ارتباط با پدیده فرونشست مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در ایران نیز به مطالعه اثرات پدیده فرونشست در غرب تهران (پاکروان، ۱۳۸۴)؛ جاده‌های دشت یزد اردکان (کمک پناه، ۱۳۸۵) در راستای ارزیابی ایجاد شکاف و ترک‌های طولی در سطح زمین روستاهای عظیم آباد، ظاهرآباد، ظفررود، فیروزآباد، کلاته شادی و کندر در ارتباط با پدیده فرونشست زمین (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۷)، پی‌جویی اثرات ناشی از فرونشست در منطقه رستاق (زارع مهرجردی، ۱۳۹۰)؛ در دشت مهیار (صالحی و همکاران، ۱۳۹۰)، اکبری و همکاران (۱۳۹۰) در دشت دامغان نیز می‌توان اشاره نمود.

¹. Vulnerability

². Sun

³. Hu

⁴. Eray

⁵. Ramiro

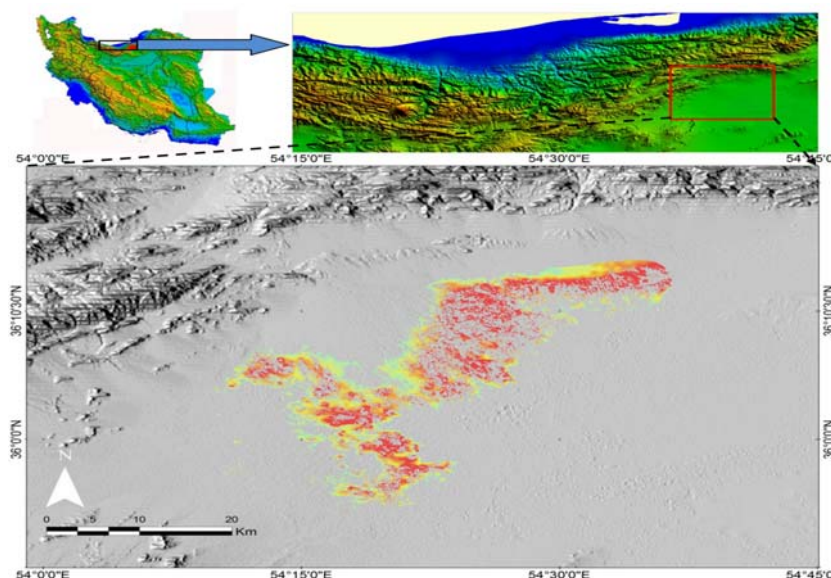
⁶. kay

⁷. Gumilar

تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR)^۱ تاکنون یکی از دقیق‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های سنجش از دور، برای شناسایی اولیه جابه‌جایی‌های به‌وجودآمده در سطح زمین بوده است. علاوه بر آن، در این روش به‌واسطه بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و قابلیت تکرارپذیری آن، پایش این پدیده در مکان مورد نظر با سهولت و در کوتاه‌ترین زمان و بهینه‌ترین هزینه اجرایی، امکان اجرا دارد. چرا که، این تکنیک ابزار قدرتمند مساحی در جهت ایجاد مدل‌های رقومی ارتفاع از توپوگرافی سطح زمین است و در پی جویی جابه‌جایی‌های با مقیاس سانتی‌متر وابسته به دگرگونی سطح، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Laurence, 2002: 361).

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 خالیدی ۱۳۸۱) قرار گرفته است. از منظر ژئومورفولوژیک این دشت واحد پیکرشناسی وسیع و نسبتاً همواری است؛ که تقریباً از اطراف به 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 علی قلی) در مرکز دشت دارد. به همین دلیل عبور آب‌های سطحی و زیر زمینی به سمت مرکز چاله به آرامی انجام می‌شود. تبخیر شدید این آب‌ها به ویژه در فصل گرم محدوده وسیعی از مرکز و شمال دشت را به نم‌زار تبدیل کرده است (محمودی، ۱۳۶۸: ۴۵).



شکل شماره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش تحقیق

روش انجام این تحقیق آزمایشگاهی - پیمایشی و تحلیلی است. ابتدا برای تشخیص نرخ و دامنه فضایی فرونشست اقدام به پردازش تصاویر راداری به کمک تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR) در بازه‌ی زمانی ماهانه گردید. یافته‌های این مرحله به منظور فراهم آوری بستر تحلیل آسیب‌پذیری در محدوده مورد مطالعه پهنه‌بندی گردید. سپس به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و مساکن محدوده مورد

^۱. Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar

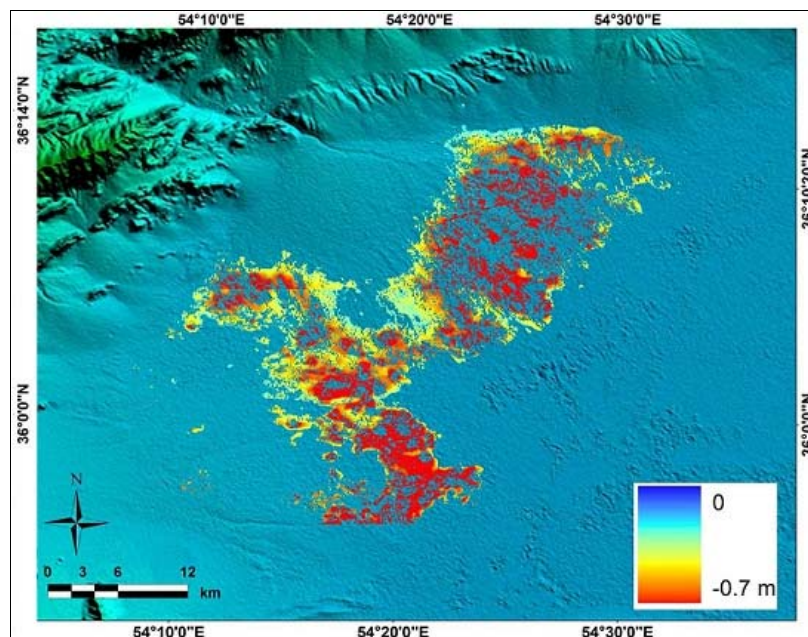
مطالعه در هریک از پهنه‌های خطر، هریک از سازه‌ها و مساکن به‌طور جداگانه و در سه دسته نقطه‌ای، خطی و پهنه‌ای در ارتباط با فرونشست زمین، مورد تحلیل مکانی قرار گرفت. یافته‌های این مرحله از طریق عملیات پیمایشی اعتبارسنجی و سپس اقدام به پیمایش و پی‌جویی میدانی شواهد مورفولوژیک ناشی از فرونشست در عرصه‌های تعیین شده گردید.

برای انجام این تحقیق از مجموعه داده‌های ذیل استفاده شد:

الف) تصاویر سنجش از دوری، مشتمل بر داده‌های ماهواره ENVISAT و سنجنده ASAR طی دوره ۶ ماهه (۲۰۱۱/۰۹/۲۴ - ۲۰۱۱/۰۳/۲۸) از سازمان فضایی اروپا و تصاویر ماهواره‌های لندست سال ۲۰۱۱ م.

ب) داده‌های آماری چاه‌های بهره‌برداری و مشاهده‌ای متعلق به مرکز آب منطقه‌ای؛

ج) لایه‌ی زمین آماری مساکن روستایی و شهری محدوده مورد مطالعه متعلق به سازمان آمار ایران. جهت انجام این کار تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری مورد استفاده قرار گرفت. این تکنیک روی داده‌های SAR سنجنده (ASAR) در دوره زمانی فوق‌الذکر اعمال گردید. بدین‌منظور با استفاده از داده‌های سنجنده ASAR متعلق به ماهواره ENVI در بازه زمانی ۶ ماهه (۲۰۱۱/۰۹/۲۴ - ۲۰۱۱/۰۳/۲۶) و در باند C با طول موج ۵.۶ سانتی‌متر تداخل نگاری تهیه گردید. با پردازش این داده‌ها در تمام مراحل براساس الگوریتم از پیش تعریف شده، تداخل نگار فازی تبدیل به نقشه فازی اصلاح شده و نهایتاً مبدل به نقشه معرف مقادیر فرونشینی متریک شد (شکل ۳).

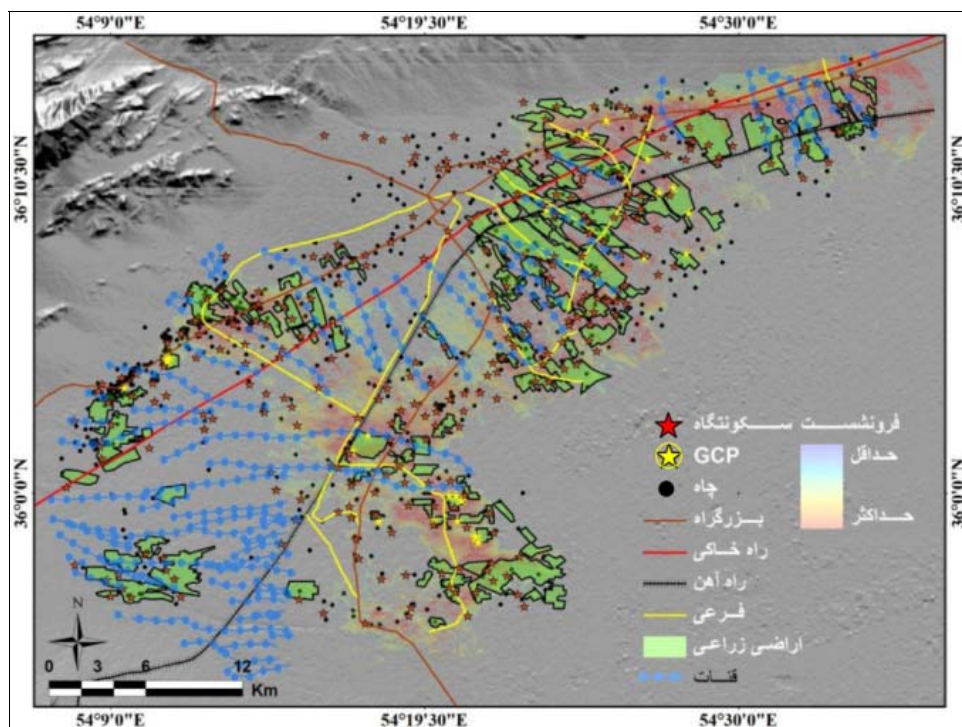


شکل شماره ۲: نرخ و دامنه فضایی فرونشست سنجنده ASAR

بر پایه طبقه‌بندی نقشه فرونشست مستخرج از تحلیل داده‌های راداری و براساس جدول شماره یک که گویای نرخ و پهنه‌های در حال فرونشست طی دوره ۶ ماهه در هر یک از طبقات خطر می‌باشد؛ طبقه کم خطر با مقدار فرونشینی حداکثر ۱/۶ سانتی‌متر و پهنه‌ای برابر با ۸۳۶ کیلومتر مربع، طبقه با خطر متوسط نرخی به میزان حداکثر ۲/۴ سانتی‌متر و پهنه‌ای برابر ۴۵/۶ کیلومتر مربع و طبقه حداکثری خطر فرونشست به میزان حداکثر ۷ سانتی‌متر به مساحت ۱۶/۴ را در بر می‌گیرد (جدول ۱).

جدول شماره ۱: مساحت طبقات ۵ گانه فرونشست براساس داده‌های سنجنده ASAR

طبقات	فرونشست/Cm	مساحت/Km2
کم	۱/۱-۱/۶	۸۳۶/۶
متوسط	۱/۶-۲/۴	۴۵/۶
زیاد	۲/۴-۷	۱۶/۴



شکل شماره ۳: کاربری زمین در محدوده مورد مطالعه

آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها

به جهت درک و ارزیابی نظام‌مند آسیب‌پذیری، سازه‌ها و ساختارها به سه دسته؛ سطح، خط و نقطه تقسیم شدند و تحلیل مکانی داده‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی نیز برهمین مبنی انجام‌پذیرفت.

الف - زیرساخت‌هایی که دارای الگوی خطی‌اند: زیرساخت‌های واجد الگوی خطی در محدوده مورد

مطالعه عمدتاً مشتمل بر شبکه ارتباطی (بزرگراه، جاده‌های آسفالت‌ه؛ راه‌های دسترسی؛ راه آهن)؛ تأسیسات زیرسطحی (قنات‌ها؛ لوله‌های گاز و مواد سوختی مایع؛ شبکه‌های انتقال آب) تأسیسات کشاورزی (کانال‌های انتقال آب در مزارع؛ آبگیرها) 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. به‌طوری که در صورت داشتن ساختاری پیوسته و غیرقابل انعطاف، تخریب در ساختار و در صورت دارا بودن ویژه‌گی‌های 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) استقراردارند، رخداد فرونشست تاثیرگذاری فراگیری بر روی آن‌ها نداشته است. نتایج حاصل از تحلیل‌های مکانی مبتنی بر روی هم‌گذاری عوارض خطی و نقشه عرصه و مقادیر فرونشست مؤید

عدم تأثیرپذیری بخش عمده‌ای از این عوارض است. به‌طوری که در نقشه عرصه و مقادیر فرونشست مستخرج از تصاویر سنجنده ASAR؛ بیش از ۶۸ درصد از مجموعه طول عوارض خطی خارج از عرصه‌های فرونشینی قرار گرفته و فقط نزدیک به ۳۲ درصد از طول این عوارض در پهنه‌های با فرونشینی ۴ میلی‌متر تا حداکثر ۱۶ میلی‌متر استقرار دارند (جدول ۲). در این بین؛ عوارضی چون جاده آسفalte و راه آهن 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 است (شکل ۴-۱). از سوی دیگر، گذر لبه فرونشست از جاده‌ی آسفalte به دلیل خاصیت و ساختار غیرمنعطف آن منجر به گسیختگی 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 پیرامونه‌ای است (شکل ۴ ب).



شکل شماره ۴: گذر لبه فرونشینی از خط آهن و جاده آسفalte و ایجاد اختلاف ارتفاع در جاده. (۱) ایجاد انحنای در خط آهن. ۲ الف) الگوی فضایی گسیختگی در تصویر ماهواره‌ای (برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای گوگل). ۲ ب) گذر لبه فرونشینی از جاده آسفalte و ایجاد تخریب و بازسازی

جدول شماره ۲: آسیب‌پذیری عوارض خطی

میزان فرونشست Cm	طول %	طبقه آسیب‌پذیری
۱/۱-۱/۶	۱۰۰	کم
۱/۶-۲/۴	۰	متوسط
۲/۴-۷	۰	زیاد

ب - عوارض پهنه‌ای؛ دسته‌ای از ساختارها در منطقه، نه از الگوی خطی پیروی کرده و نه از حیث مقیاس مطالعه، دارای ویژگی‌های نقطه‌ای می‌باشند. این دست عوارض که گاهی از چند متر تا چند صد مترمربع را در بر می‌گیرند؛ 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 و ... را ذکر نمود. به دلیل تمرکز فرونشست در بخش جنوبی محدوده مورد بررسی (شکل ۲) 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 است. با توجه به پردازش داده‌ها و استخراج میزان آسیب‌پذیری در این دسته از زیرساخت‌ها مشخص گردید، ۹۰ درصد از کل مساحت در پهنه‌های با خطرپذیری کم قرار دارد و طبقات میانه و زیاد در بر دارنده ۱۰ درصد از کل پهنه‌هاست (جدول ۲).

مساکن نیز (عمدتاً روستایی) از بارزترین 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 گسیختگی‌های افقی در طول دیواره شده‌اند (شکل ۵)؛ الف و ب).



شکل شماره ۵: ایجاد گسیختگی در مساکن روستایی: الف) ایجاد ترک افقی بر سازه به علت قرارگیری در لبه فرونشست. ب) ایجاد ترک عمود بر بدنه دیوار به علت قرارگیری در هسته فرونشست.

تأسیسات زیرساختی خصوصاً بخش کشاورزی (شکل ۶ الف) و همچنین پل‌ها (شکل ۶ ب)، از دیگر عوارض واجد الگوی فضایی پهنه‌ای‌اند که از پدیده فرونشست متأثر شده است. پیمایش میدانی در سطح محدوده مورد مطالعه مؤید رخداد ترک‌های طویل و پردامنه (شق) در اراضی تحت بهره‌برداری زراعی و باغی است که این موضوع به علت هدر رفت آب در گسیختگی‌های ناشی از فرونشست، باعث رها شدن این چنین زمین‌هایی گردیده است. پل‌ها نیز با وجود تعدد کم در منطقه و عمدتاً مستقر در اراضی با نرخ فرونشست حداقل در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه از آسیب‌های فرونشست در امان نبوده‌اند. این چنین سازه‌هایی نیز با قرارگیری در لبه‌های فرونشست دچار گسیختگی و شکستگی شده‌اند؛ که در برخی موارد این گسیختگی عامل جدایش سقف و دیواره پل گردیده است که مقادیر این گسیختگی براساس ارزیابی‌های میدانی تا ۱۰ سانتی‌متر نیز بالغ گردیده است (شکل ۶)؛ (ب)؛



شکل شماره ۶: آسیب‌پذیری سازه و ساختار. الف) تاثیر فرونشست بر زمین زراعی و تغییر مکان زمین ب) آسیب دیدگی پل

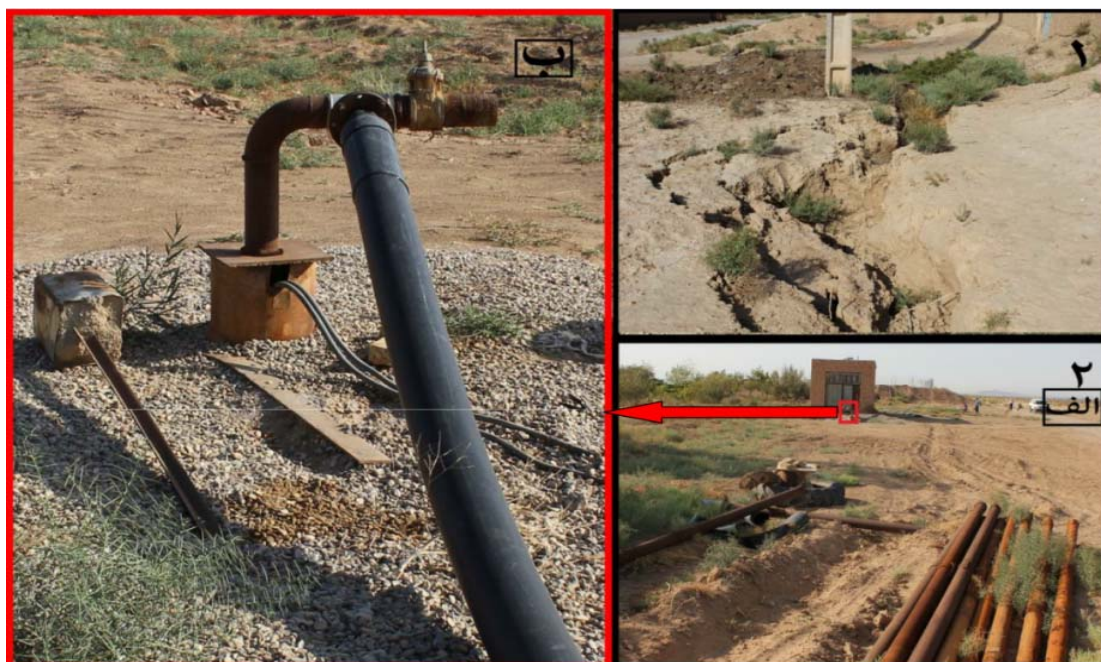
جدول شماره ۲: آسیب‌پذیری عوارض پهنه‌ای

میزان فرونشست	طبقات آسیب‌پذیری	مساحت %
۲/۴ - ۷	زیاد	۳
۱/۶ - ۲/۴	متوسط	۷
۱/۱ - ۱/۶	کم	۹۰

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 قنات‌ها، دکل‌های برق و... در محدوده مورد مطالعه در زمره عوارض نقطه‌ای متأثر از پدیده فرونشست قرار دارند. این عوارض اگرچه در دید عمودی دارای هندسه نقطه‌ای می‌باشند؛ ولی، در عمق (چاه) و ارتفاع (دکل برق) دارای مؤلفه طولی‌اند. مبتنی بر همین ویژگی، بررسی آسیب‌پذیری آن در بردار افقی و عمودی مورد توجه قرار گرفته و در این موارد عکس‌العمل‌هایی همانند تخریب جدار، برآمدگی میله، تخریب تأسیسات (چاه) (شکل ۷-۲ الف و ب) و کج‌شدگی (دکل‌های برق) (شکل ۷-۱) قابل ذکر است. با توجه به روی هم‌گذاری لایه عوارض نقطه‌ای و پهنه‌های تحت حاکمیت فرونشست در منطقه می‌توان گفت بیش‌ترین آسیب‌پذیری متعلق است؛ به ۱۱ درصد از نقاط با فرونشست ۷-۲/۴؛ و ۶۹ درصد از این عوارض در منطقه آسیب‌پذیری کم با میزان فرونشست ۱/۶-۱/۱ قرار دارند (جدول ۳).

جدول شماره ۳: آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و سازه‌های نقطه‌ای از فرونشست

میزان فرونشست	میزان آسیب‌پذیری	تعداد %
۷-۲/۴	زیاد	۱۱
۱/۶-۲/۴	متوسط	۲۱
۱/۱-۱/۶	کم	۶۹



شکل شماره ۷: خسارت وارد آمده به سازه‌های نقطه‌ای. (۱) تیرهای برق (۲) چاه بهره‌برداری الف: مکان اولیه چاه به همراه تأسیسات آسیب دیده ناشی از تخریب جدار. ب) مکان جدید حفر چاه و در حال برداشت.

آسیب‌پذیری آبخوان از فرونشست زمین

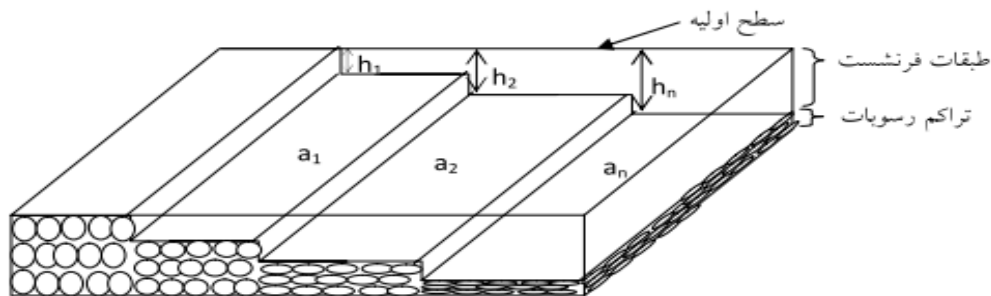
فرونشست اگرچه پیامد فشردگی سطوح زیرین خاک است؛ لیکن، خود معرف حدوث و پیامد ناگوار زیست محیطی در افق آبی می‌باشد. فشردگی سطوح زیرین و افت تراز ایستابی در حوضه‌های واجد منابع آب

زیرزمینی، کاهش حجم و فضای نگهداشت آب را به دنبال خواهد داشت. به بیان ساده تر کاهش مخزن آب زیرزمینی پیامد منطقی حدوث پدیده فرونشست است. این مهم می تواند توانمندی عرصه فضایی مبتلا را به صورت زیرساختی تغییر داده و خسارت غیر قابل جبرانی را پیامد داشته باشد. همزادی مکانی پدیده فرونشست با عرصه های فضایی بیابانی، محیط زیست شکننده آن را عمیقاً متأثر می سازد، به طوری که با افت و تعدیل حجم مخزن، زیرساخت مکانی برای نگهداشت منابع ذی قیمت 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) به طور جدی آسیب خواهد دید. در این تحقیق اندازه گیری میزان تغییرات حجم مخزن از طریق معکوس مقادیر افت سطحی اندازه گیری شده است. یافته های تحقیق در زمینه مقادیر فرونشست و الگوی فضایی آن به همراه تحلیل فضایی آن در فرم عرصه های فضایی (طبقات فرونشست) با مقادیر متفاوت فرونشینی (شکل ۸) و همچنین اعمال رابطه ۱، امکان محاسبه میزان افت ظرفیت مخزن و سفره آبی را فراهم آورد. یافته ها مؤید افت سالانه ۱۶.۱ میلیون مترمکعبی حجم مخزن در عرصه های واجد فرونشست است. این روند می تواند خسارت جبران ناپذیری بر محیط زیست و منابع ارزشمند آن وارد ساخته؛ افق پرتنشی را پیش روی ساکنین و به خصوص بهره برداران کشاورزی قرار دهد.

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

a_1, \dots, a_n = مساحت پهنه فرونشست

h_1, \dots, h_n = عمق یا مقادیر فرونشست



شکل شماره ۸: رابطه فرونشست و ظرفیت آبخوان؛ h_1, \dots, h_n : ارتفاع فرونشینی؛ a_1, \dots, a_n : مساحت پهنه فرونشست

نتیجه گیری

بخش میانی دشت دامغان درگیر پدیده فرونشست با نرخ ۷ سانتی متر طی دوره ۶ ماهه است. این محدوده عمدتاً متمرکز بر زمین های کشاورزی و باغی و به طور پراکنده، برخی سکونتگاه های روستایی بوده و مساکن شهری در حاشیه پهنه های در حال فرونشینی قرار گرفته اند. حدوث عارضه فرونشست در محدوده مورد بررسی و استقرار گروه متنوعی از زیرساخت های عمرانی، کشاورزی و سکونتگاهی بستر لازم برای آسیب پذیری تأسیسات را به دنبال داشته است. تلفیق بررسی های آزمایشگاهی (پردازش داده) و بررسی های پیمایشی و میدانی قابلیت مناسبی از پیجویی و استخراج آسیب های ناشی از فرونشست را میسر ساخت. با توجه به نرخ و دامنه فرونشست به میزان حداکثر ۷ سانتی متر طی دوره ۶ ماهه و مقادیر متفاوت برداشت و استخراج آب های زیر زمینی منطقه در بخش های مختلف درگیر فرونشست متفاوت بوده و همین موضوع موجب گسیختگی ها و

شکاف‌ها بوده است. لذا، قرارگیری تأسیسات و مستحذات در مناطق حدوث فرونشست، پیامدهایی آسیب‌زا در برداشته است. از همین‌رو با پیجویی یافته‌های آزمایشگاهی در محدوده مورد مطالعه بارها و بارها با این نوع آسیب‌ها در اندازه و مقیاس‌های متفاوت روبه‌رو می‌شویم. تأسیسات بسته به شکل (نقطه، خط و سطح) جنس (منعطف و غیر منعطف) و هم‌چنین قرارگیری در طبقات سه‌گانه فرونشینی و آسیب‌پذیر، پاسخ‌های متفاوتی به رفتار مورفولوژیکی سطح زمین نشان داده‌اند. به‌طور کلی می‌توان گفت که به علت نرخ بیش‌تر فرانشست در بخش‌های جنوبی دشت و تمرکز بیش‌تر تأسیسات در بخش‌های شمالی دشت، غالباً درصد بیش‌تر در انواع تأسیسات در طبقات آسیب حداثلی (فرونشست کم) قرار گرفته‌اند و هم‌چنین به به علت میانگین‌گیری نرخ فرونشینی برای هر یک از گروه‌های سازه‌ای و زیرساختی، عموماً مقادیر حداثلی ثبت گردیده که این مقادیر معرف میزان آسیب‌پذیری بوده است. آسیب‌های فرونشست تنها به اثرات سطحی آن ختم نمی‌شود. از آسیب‌های بسیار مهم و گاه غیرقابل بازگشت فرونشست در حوضه‌های رسوبی مناطق خشک فشردگی رسوبات تشکیل دهنده آبخوان‌ها و کاهش حجم آن‌ها می‌باشد؛ که در این مورد در منطقه مورد مطالعه با توجه به پردازش داده‌ها کاهش حجمی برابر ۱۶ میلیون مترمکعب را موجب گردیده است. این مورد براساس ساختار اقتصادی زراعت محور منطقه، خود پیامدها و آسیب‌های ناگواری در بخش‌ها و زیربخش‌های کشاورزی و زراعت به دنبال خواهد داشت.

منابع و مأخذ

- ۱- اکبری سعیده، هدیه قربانی، صدیقه امیدی، (۱۳۹۰) بررسی تاثیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی بر پدیده نشست زمین در اطراف شهرستان دامغان، پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، ص ۶-۱
- ۲- بناها و شهر دامغان، (۱۳۶۸)، گزارش سیمای طبیعی دامغان، انتشارات فضا.
- ۳- پاکروان، شادنوش، (۱۳۸۴)، بررسی پدیده فرونشست زمین در اثر آب های زیرزمینی در منطقه جنوب غربی تهران، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده ی منابع طبیعی، گروه احیای مناطق خشک، به راهنمایی مهدوی.
- ۴- خالدي شهریار، (۱۳۸۱)، جغرافیای زیستی، انتشارات پیام نور.
- ۵- زارع مهرجردی احمد علی، (۱۳۹۰)، بررسی پدیده نشست زمین و شکستگی های موجود در منطقه رستاق جنوب میبد، مجله ی جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ی ۳، صص ۱۶۶-۱۵۶
- ۶- سنجش آسیب پذیری سکونتگاه های روستایی ناحیه ولشت از مخاطرات زمینی، (۱۳۹۰)، برنامه ریزی و آمایش فضا، جلد ۱۵، شماره ی ۱، صفحه ۱۴۹-۱۲.
- ۷- صالحی، رضا؛ غفوری، محمد؛ لشکری پور، غلامرضا؛ دهقانی، مریم، (۱۳۹۰)، بررسی فرونشست دشت مهیار جنوبی و تأثیر شکاف های ناشی از آن بر زمین های کشاورزی، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شهریور ص ۷-۱.
- ۸- کمک پناه، علی، (۱۳۸۶)، مطالعه علل پدیده گسیختگی زمین در جاده های دشت یزد - اردکان، پژوهش نامه حمل و نقل، سال چهارم، شماره ی دوم، ۱۹۴-۱۸۱.
- ۹- لشکری پور، غلامرضا، محمد، غفوری، رستمی بارانی، حمیدرضا، (۱۳۸۷)، بررسی علل تشکیل شکاف ها و فرونشست زمین در غرب دشت کاشمر، مطالعات زمین شناسی، ج ۱، ش ۱، ص ۱۱۱-۹۶.

- 10- Barends F.B. J., Frits J. J., Brouwer, H., Frans Schroder, (1995), *Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence, held at The Hague, The Netherlands, No 234, pp,16-20 October*
- 11- Charles, (2006), *Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards, World Meteorological Organization, 91p*
- 12- 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*
- 13- 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,*
- 14- Clanton, U.S., and Amsbury, D.L., (1975). *Active faults in southeastern Harris County, Texas: Environmental Geology, v. 1, p p. 149-154.*
- 15- Cloetingh a, Yu.Y. Podlachikov a,b, (2000), *Perspectives on tectonic modeling, Tectonophysics, 320, pp169-173*
- 16- 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,*
- 17- Galloway ,(2001). *geological subsidence interest group conference , proceeding of technical meeting , Galveston, Texas , November, pp 27-29*

- 18- 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, California. Water Resource . Res.* 34, pp 2573-2585.
- 19- Gloppe, R.J., (1989) *Land subsidence and soil ripening. Flevovericht* 306. Rijkswaterstaat, Directie Flevoland, Lelystad, 49 p
- 20- 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
- 21- Health and Safety Executive, (2011), *Five steps to risk assessment, information visit* www.hse.gov.uk/
- 22- Hu Beibei, Jun Zhou, Jun Wang, Zhenlou Chen, Dongqi Wang, Shiyuan Xu. (2009), *Risk assessment of land subsidence at Tianjin coastal area in China, Environ Earth Sci* 59:269-276,
- 23- Kay. Darly, (2012). *The management of mine subsidence Effects, impacts and consequences ,mine subsidence engineering consultants, Caroona Coal Project, Community Consultative Committee Presentation,*
- 24- 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.
- 25- Liu, C.W., Lin, W. S. & Cheng, L.H., (2006). *Estimation of land subsidence caused by loss of smectite interlayer water in shallow aquifer systems. Hydrogeology Journal*, 14:508-525.
- 26- 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
- 27- Stephen, *Subsidence: Dissolution & Human Related Causes*, (2011). *Natural Disasters*, Tulane University ,pp 1-10
- 28- Sun .H, D. Grandstaff, R. Shagam, (1999). *Land subsidence due to groundwater withdrawal: potential damage of subsidence and sea level rise in southern New Jersey, USA ,Environmental Geology* 37 (4) April 1999 7 Q Springer-Verlag, pp 290-296