

ارزیابی تأثیر افت آب‌های زیرزمینی بر میزان فرونشست با استفاده از تصاویر راداری سنتینل-۱ محدوده مورد مطالعه: دشت قروه

حمید گنجائیان^۱
زهرا زنگنه تبار^۴

شیرین محمدخان^۱
لیلا گروسی^۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۷/۱۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۲/۰۵

چکیده

فرونشست زمین عبارت است از پایین رفتن یا فروپاشی زمین تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی که می‌تواند بر بسیاری از ساخت و سازها و تأسیسات تأثیر بگذارد و سبب به وجود آمدن مشکلاتی برای محیط طبیعی و جوامع انسانی شود. با توجه به تأثیر مستقیم افت آب‌های زیرزمینی بر میزان فرونشست، در تحقیق حاضر به ارزیابی وضعیت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی دشت قروه و رابطه آن با میزان فرونشست این دشت پرداخته شده که برای این منظور از تصاویر سنتینل ۱ در طی بازه زمانی ۲۰۱۶/۰۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹ استفاده شده است. داده‌های تحقیق شامل داده‌های پیزومتری چاه‌ها، رسوب‌شناسی و ۱۶ تصویر راداری سنتینل ۱ می‌باشد. روش کار به این صورت است که ابتدا وضعیت بهره‌برداری و میزان افت آب‌های زیرزمینی دشت قروه مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس با استفاده از روش سری زمانی SBAS میزان فرونشست منطقه محاسبه شده است. نتایج حاصل از بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی دشت قروه بیانگر افزایش میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه افت سطح آب در این دشت است که بیشترین میزان افت سطح آب در مناطق شرقی دشت قروه صورت گرفته است. همچنین ارزیابی میزان فرونشست منطقه نیز بیانگر این است که میزان فرونشست در مناطق شرقی و غربی بیش از سایر مناطق است و این بیانگر انطباق میزان فرونشست با میزان افت آب‌های زیرزمینی است. بر اساس نتایج به دست آمده از طریق روش SBAS، بالاترین میزان فرونشست با میزان ۲۱۶ میلیمتر در طی دو سال مربوط به مناطق حاشیه‌ای شرق و غرب دشت قروه بوده است.

واژه‌های کلیدی: فرونشست، دشت قروه، رادار، SBAS

۱- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران Mohammadkh@ut.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران h.ganjaein@ut.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس lila garosi@gmail.com

۴- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز Zahra zangneh71@gmail.com

مقدمه

ایران با مسئله فرونشست مواجه باشند (حقیقت مهر و همکاران، ۱۳۹۱). دشت قروه به عنوان یکی از دشتهایی محسوب می‌شود که در طی سال‌های اخیر به دلیل بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی جزء دشتهای ممنوعه استان کردستان معرفی شده است. مطابق گزارش سازمان آب و منطقه‌ای استان کردستان، در این دشت میزان افت آب‌های زیرزمینی از سال ۶۶ تا ۸۲ در حدود ۸۵/۸ متر بوده است به طوری که عمق آب در مهر ماه سال ۶۶ در حدود ۸/۲ متر بوده است که در سال ۸۷ عمق آب به ۹۳/۲ متر رسیده است. با توجه به میزان افت آب‌های زیرزمینی و تأثیر مستقیم آن بر میزان فرونشست منطقه، در تحقیق حاضر به ارزیابی میزان فرونشست دشت قروه در بازه زمانی ۲۰۱۶/۰۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹ پرداخته شده است. در این تحقیق برای ارزیابی وضعیت افت آب‌های زیرزمینی از اطلاعات آماری سازمان آب و منطقه‌ای استان کردستان استفاده شده و همچنین به منظور برآورد نرخ فرونشست منطقه نیز از تصاویر Sentinel-1 و روش تداخل سنجی راداری (به دلیل قابلیت‌های منحصر به فرد در ابعاد، هزینه، زمان و دقت نسبت به دیگر تکنیک‌های سنجش از دوری) استفاده شده است.

با توجه به اهمیت موضوع مورد مطالعه در طی سال‌های اخیر تحقیقات متعددی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که در ادامه به تشریح پاره‌ای از آنها پرداخته شده است: از جمله تحقیقات خارجی می‌توان به دینهو و همکاران^۱ (۲۰۱۵) اشاره کرد که به بررسی پدیده فرونشست در شهر هوچی مین ویتنام پرداخته‌اند. در این تحقیق از روش تداخل سنجی (PSI) برای برآورد فرونشست استفاده شده است.

انطباق میزان بهره‌برداری چاه‌ها با نتایج حاصل از تداخل سنجی بیانگر این است که تحت تأثیر افت آب‌های زیرزمینی، این منطقه در طی ۴ سال ۱۲ سانتیمتر فرونشست داشته

فرونشست زمین عبارت است از پایین رفتن یا فروپاشی زمین تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی (های مانگ و همکاران، ۲۰۰۹). در واقع فرونشست زمین به عنوان یکی از مسائلی است که تحت تأثیر عوامل انسانی تشدید می‌شود (چاسارد و همکاران، ۲۰۱۳) و این پدیده می‌تواند ناگهانی یا تدریجی باشد و با جابجایی‌های ناچیز افقی نیز همراه باشد (بیتس و جکسون، ۱۹۸۰). فرونشست می‌تواند بر بسیاری از ساخت و سازها و تأسیسات تأثیر بگذارد و سبب به وجود آمدن مشکلاتی برای صنایع، محیط‌زیست و ... شود (جی و همکاران، ۲۰۰۷). این پدیده به عنوان یکی از مهمترین مخاطرات محیطی است که به دلیل تلفات کم انسانی نسبت به سایر پدیده‌های طبیعی کمتر مورد توجه قرار گرفته است (انگورانی و همکاران، ۱۳۹۴). امروز پدیده فرونشست معضل و مخاطره‌ای است که جوامع ساکن بر آن را در سطوح بین‌الملل تهدید می‌کند. بر اساس برآورد کارشناسان، بیش از ۱۵۰ شهر از شهرهای بزرگ دنیا با گستره‌ای از کشورهای توسعه یافته تا در حال توسعه در معرض این پدیده قرار دارند (میو و همکاران، ۲۰۰۴). هر چند که این پدیده از توالی و فرکانس نسبتاً بالایی برخوردار است اما به دلیل حرکات بسیار کند و بطئی زمین در اغلب مواقع درک و اندازه‌گیری درست آن میسر نیست. به همین دلیل، این پدیده در اغلب نواحی فقط زمانی شناسایی می‌شوند که در مورفولوژی سطحی و به‌ویژه در تأسیسات و تجهیزات تأثیرگذار باشد و تخریب و خسارات به بار آورد (شرفی‌کیا، ۱۳۹۱).

فرونشست زمین در ایران سابقه‌ای طولانی دارد، در گذشته تنها برخی از استان‌ها از جمله کرمان و یزد با این مسئله مواجه بودند ولی هم‌اکنون بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی سبب شده تا بسیاری از دشتهای

- 1- Hay-Man et al
- 2- Chaussard
- 3- Bates & Jackson
- 4- Ge et al
- 5- Hua et al

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ارزیابی تأثیر افت آب‌های زیرزمینی بر میزان فرونشست ... / ۲۲۱

غربی تهران پرداخته‌اند. در این تحقیق از داده‌های TerraSAR-X به منظور پایش جابجایی سطح زمین استفاده شده است. همچنین به منظور پردازش این داده‌ها از دو روش تداخل سنجی متداول و باز پراکنش کننده دائمی استفاده شده است. نتایج بیانگر این است که ماکزیمم نرخ فرونشست در منطقه با داده‌های ENVISAT تنها ۳ سانتیمتر به دست آمده اما با استفاده از داده‌های TSX ماکزیمم نرخ فرونشست برآورد شده ۱۲ سانتیمتر بوده است. پیری و رحمانی (۱۳۹۵) به بررسی میزان فرونشست شمال دریاچه ارومیه پرداخته‌اند. در این تحقیق جهت تعیین محدوده تحت تأثیر و نهایتاً برآورد میزان فرونشست از روش تداخل سنجی راداری استفاده شده است. در این تحقیق از تصاویر راداری ماهواره ENVISAT در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۹ استفاده شده است که نتایج حاصل از آن میزان ۶ سانتیمتر حداکثر فرونشست و ۳ سانتیمتر حداقل فرونشست را در دشت تسوج در بازه زمانی یک سال نشان می‌دهد.

بابایی و همکاران (۱۳۹۵) به تعیین نرخ فرونشست دشت قزوین با استفاده از روش‌های طول خط مبنای کوتاه (SBAS) و پراکنش کننده‌های دائمی (PS) پرداختند. نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی تداخل سنجی، یک فرونشست پیوسته و قابل ملاحظه‌ای را در این منطقه نشان می‌دهند.

هر دو سری زمانی تداخل سنجی PS و SBAS ماکزیمم دامنه فرونشستی حدود ۳۰ تا ۳۵ میلیمتر در سال را مشخص می‌کنند. با توجه به موارد مذکور هدف از تحقیق حاضر پایش میزان فرونشست سالانه دشت قروه و میزان افت آب‌های زیرزمینی این دشت و در نهایت تحلیل ارتباط بین افت آب‌های زیرزمینی با میزان فرونشست منطقه است.

محدوده مورد مطالعه: دشت قروه در غرب کشور واقع شده است و از نظر تقسیمات سیاسی در استان کردستان قرار دارد. شهر قروه به عنوان مرکز شهرستان قروه و همچنین شهرهای دلبران و سریش‌آباد از مهمترین نقاط جمعیتی این دشت هستند.

دشت قروه با میانگین ارتفاعی حدود ۱۷۵۰ متر از نظر

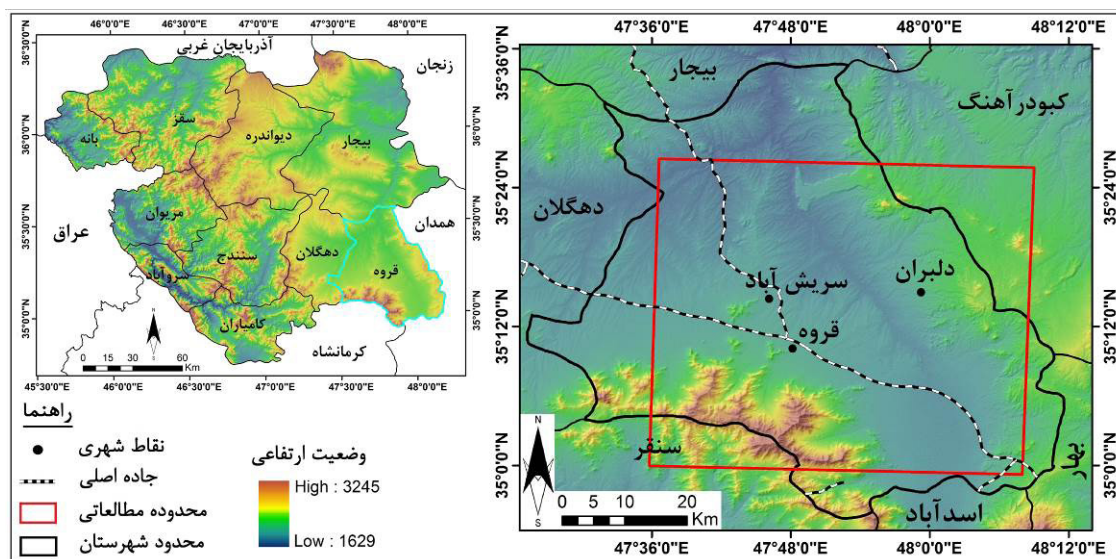
است. آگوستان و همکاران^۱ (۲۰۱۶) به ارزیابی جابجایی زمین در جاکارتا از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های راداری پرداختند. در این تحقیق از تصاویر راداری SAR به منظور تداخل سنجی راداری استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که این منطقه از ماه نوامبر ۲۰۱۵ تا سپتامبر ۲۰۱۶ حدود ۱۲ سانتیمتر فرونشست داشته است. دیو و همکاران^۲ (۲۰۱۷) به ارزیابی میزان فرونشست شبه جزیره لیژاو در چین با استفاده از تصاویر راداری پرداخته‌اند. در این تحقیق از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۰ استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که حداکثر میزان فرونشست با ۳۲ میلی-متر در نوار خط ساحلی بوده است، در حالی که میزان فرونشست در زمین‌ها داخلی بین ۱۰ تا ۱۹ میلیمتر در سال برآورد شده است. دکلارک و همکاران^۳ (۲۰۱۷) به بررسی میزان جابجایی زمین در بروکسل در طی یک دوره ۲۵ ساله پرداختند. در این تحقیق از تصاویر ERS، Envisat، TerraSAR-X و Sentinel-1 روش تداخل سنجی راداری استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۷ حدود ۴ سانتیمتر افت داشته است. همچنین نتایج تداخل سنجی تصاویر Sentinel بیانگر این است که این محدوده در طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ حدود ۰/۵ تا ۱ سانتیمتر فرونشست دارد.

در ایران نیز شریفی کیا (۱۳۹۱) به تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری در دشت نوق-بهرمان پرداخته است. در این تحقیق از روش تداخل سنجی تفاضلی داده‌های راداری (D-InSAR) بر روی داده‌های ماهواره‌ای در دو باند C و L در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۹ استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داده است که این منطقه سالانه حدود ۳۰ سانتیمتر فرونشست دارد. میرشاهی و همکاران (۱۳۹۲) به اندازه‌گیری فرونشست سطح زمین به کمک تکنیک تداخل سنجی راداری در جنوب

1- Agustan et al

2- Du et al

3- Declercq



نگاره ۱: نقشه موقعیت شهرستان و محدوده مطالعاتی

فرونشست نیز شامل ۱۶ تصویر راداری از تاریخ ۲۰۱۶/۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹ می باشد که در جدول ۱ مشخصات تصاویر ارائه شده است. پس از تهیه آمار و اطلاعات مورد نیاز با استفاده از نرم افزارهای مورد نیاز از جمله GMT، ARCGIS و SPSS و ... به تجربه و تحلیل اطلاعات پرداخته شده است.

روش ها: در این تحقیق به منظور ارزیابی میزان فرونشست از روش تداخل سنجی و سری زمانی SBAS استفاده شده است. در روش تداخل سنجی راداری، تصاویر مختلف راداری که دارای مقادیر فاز و دامنه موج برگشتی از عارضه به سمت سنجنده هستند با یکدیگر تلفیق شده و تصویری به نام تداخل نگاشت (ایترفروگرام) تولید می شود.

تداخل نگاشت تصویری است که از اختلاف فاز دو تصویر به دست آمده در دو زمان مختلف که از نظر هندسی به طور دقیق بر روی هم منطبق شده اند، حاصل می شود (دنیل و همکاران^۱، ۲۰۰۳). لازم به ذکر است که ثبت هندسی دو تصویر طی دو مرحله به صورت تقریبی و دقیق انجام می شود (هانسسن^۲، ۲۰۰۱). در یک تداخل نگاشت اطلاعات اختلاف فاز دو تصویر که گویای اختلاف فاصله عارضه

مورفوتکتونیک در تقسیماتی که از سوی علایی طالقانی (۱۳۸۳) از ناهمواری های ایران صورت گرفته است، در واحد شمال غربی و زیر واحد کردستان شرقی قرار دارد اما ارتفاعات جنوبی شهرستان که شامل کوه های بدر و پریشان می باشد، جزء واحد سنندج سیرجان محسوب می شود. از نظر ژئومورفولوژی، چشم انداز منطقه را واحد دشت در شمال و واحد کوهستان در جنوب دربر گرفته است. از نظر آب و هوایی نیز ارتفاع زیاد، آب و هوای خاصی را در منطقه ایجاد کرده است که دارای زمستان بسیار سرد و تابستان نسبتاً خنک است و میزان بارندگی متوسط سالیانه آن حدود ۳۰۰ میلیمتر و یا بیشتر می باشد (گنجیان، ۱۳۹۵). در نگاره ۱، نقشه موقعیت شهرستان و محدوده مطالعاتی نشان داده شده است.

مواد و روش ها

داده ها: با توجه به اینکه هدف از تحقیق حاضر ارزیابی میزان فرونشست و همچنین میزان افت سطح آب های زیرزمینی دشت قروه است، لذا از داده های پیرومتری چاه ها و تصاویر راداری استفاده شده است. داده های پیرومتری شامل اطلاعات مربوط به ۶ چاه اکتشافی و همچنین آمار و اطلاعات سازمان آب منطقه ای استان کردستان است. داده های لازم برای ارزیابی میزان

1- Interferogram

2- Daniel et al

3- Hanssen

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ارزیابی تأثیر افت آب‌های زیرزمینی بر میزان فرونشست ... / ۲۲۳

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده

ماهواره	تاریخ	Beam	نوع تصویر	حالت مداری	Polarization
ستینل ۱	۲۰۱۶۰۱۱۱	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۶۰۲۲۸	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۶۰۳۲۳	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۶۰۵۱۰	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۶۰۷۰۹	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۶۰۸۱۴	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۶۱۰۰۱	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۶۱۱۱۸	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۷۰۱۰۵	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۷۰۳۰۶	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۷۰۴۲۳	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۷۰۶۱۰	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۷۰۷۲۸	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۷۰۹۱۴	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۷۱۱۰۱	IW	SLC	صعودی	VV
ستینل ۱	۲۰۱۷۱۲۱۹	IW	SLC	صعودی	VV

زمانی^۲ آنها نیز همزمان کمینه باشد. به این ترتیب، فقط تداخل نگارهایی تشکیل می‌شوند که کیفیت مناسبی داشته باشند. پس از تشکیل این تداخلنگارها، یک شبکه از تصاویر ایجاد می‌شود، سپس با استفاده از روش کمترین مربعات، مقدار جابجایی هر پیکسل تخمین زده می‌شود (دونگ و همکاران، ۲۰۱۴).

تجزیه و تحلیل: در این تحقیق پس از تهیه تصاویر راداری، با استفاده از روش سری زمانی SBAS میزان فرونشست محدوده مطالعاتی در طی بازه زمانی ۲ ساله (۲۰۱۶/۰۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹) محاسبه شده است. پس از تهیه نقشه میزان فرونشست، به منظور اعتبارسنجی نتایج بدست آمده از اطلاعات چاه‌های پیزومتری منطقه استفاده و ارتباط بین میزان افت آب‌های زیرزمینی با فرونشست منطقه تحلیل شده است.

تا سنجنده در دو زمان تصویربرداری است، وجود دارد. به کمک مقدار اختلاف فاز می‌توان متغیرهای مختلف از جمله میزان جابه‌جایی سطح زمین تا کسری از سانتی‌متر و اطلاعات توپوگرافی سطح زمین را با دقت ۱۰ متر استخراج کرد. اما با توجه به اینکه هر تداخل نگار شامل منطقه بزرگی با همبستگی پایین است، بنابراین نتایج آن قابل اعتماد نیست و به همین دلیل روش تداخل سنجی راداری به تنهایی نمی‌تواند تغییرات صورت گرفته را نشان دهد. در این راستا برای حل مشکل، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آنها روش سری زمانی SBAS است (ژنو، ۲۰۱۳). در این روش تنها زوج تصاویری مورد استفاده قرار می‌گیرند که مؤلفه قائم خط مبنای آنها کمتر از مقدار بحرانی خط مبنا باشد، همچنین خط مبنای

2- Temporal baseline

3- Dong et al

1- Zhou

جدول ۲: مشخصات چاه‌های اکتشافی حفر شده در محدوده مطالعاتی قروه

شماره صحرائی چاه	نام محل	مختصات نقطه‌ای چاه		عمق چاه (m)	قطر حفاری (اینچ)	عمق سطح برخورد به آب (متر)	جنس سازند محدوده چاه
		Y	X				
BH1	شانوره	۳۸۹۷۶۵۹	۷۴۷۹۹۶	۷۷	۲۰	۱۶	سنگ‌های آهکی و دولومیتی و رسوبات حاصل از این سنگ‌ها
BH2	شکوه آباد	۳۸۹۲۸۱۵	۷۶۵۹۷۶	۸۳	۲۰	۱۴	رسوبات دانه‌ریز با ترکیب ماسه، سیلت و رس
BH3	امین آباد	۳۸۹۴۷۱۰	۷۳۵۴۱۲	۸۲	۲۰	۲۶	رسوبات بسیار دانه‌ریز
BH4	قلعه	۳۸۹۱۱۴۰	۷۶۷۳۲۰	۷۰/۵	۲۰	۲۲/۵	سنگ‌های آهک مرمیتی و دگرگونی فیلیت و رسوبات حاصل از سنگ‌های دگرگونی
BH5	دیوزند	۳۸۹۵۳۹۸	۷۲۰۶۴۵	۵۹/۷	۲۰	۱۵	رسوبات دانه درشت رس و سیلت که با افزایش عمق اندازه آن‌ها کاهش می‌یابد
BH6	جنیان	۳۸۹۵۱۷۳	۷۵۰۶۵۰	۵۰	۲۰	۱۳	از جنس شیست با رسوبات دانه درشت

بحث و نتایج

رسوبات آبرفتی، جنس سنگ کف، وضعیت کمی و کیفی لایه‌های آبدار و نیز ضرایب هیدرودینامیک آبخوان تعیین می‌گردد. در محدوده دشت قروه که مساحتی معادل ۱۷۰ کیلومترمربع دارد، تعداد ۲۸ چاه مشاهده‌ای و ۶ حلقه چاه اکتشافی حفر گردیده است. مشخصات چاه‌های اکتشافی حفر شده محدوده مطالعاتی در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به وضعیت گمانه حفاری چاه‌های اکتشافی و مشاهده‌ای حفر شده در دشت قروه موجود می‌توان نتیجه گرفت:

الف) نوع رسوبات از سطح تا عمق تقریباً یکسان است و فقط درصد مواد تشکیل دهنده به صورت جزئی تغییر می‌کند. ب) رسوبات دشت بیشتر در نواحی مرکزی و شرق دشت از سطح زمین تا اعماق حدود ۵۰-۳۵ متری از آبرفتی با درصد بیشتر سیلت و رس تشکیل شده و از این عمق به بعد حاوی مصالح درشت‌تر گراول و ماسه می‌باشد.

ج) واحدهای ریزدانه و درشت‌دانه متناوباً تکرار می‌شوند و در نقاط مختلف دشت از نظم خاصی تبعیت نمی‌کنند و به همین دلیل آبخوان تفکیک نمی‌گردد.

- وضعیت آب‌های زیرزمینی: دشت قروه با وسعتی حدود

با توجه به اینکه یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر فرونشست دشت‌ها، افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی است، در این تحقیق ابتدا به بررسی وضعیت لایه‌های زمین‌شناسی بر مبنای مطالعات اکتشافی و سپس به بررسی میزان بهره‌برداری و افت آب‌های زیرزمینی پرداخته شده است. در ادامه با استفاده از روش تداخل سنجی راداری میزان فرونشست دشت قروه در ارتباط با افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت قروه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

- مطالعات اکتشافی در محدوده مطالعاتی: مهمترین بخش در مطالعات منابع آب، توصیف وضعیت کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی است. مطالعات با انجام حفاری‌های اکتشافی، چاه نگاری، ردیابی و آزمایش‌های پمپاژ و مطالعات ژئوفیزیک سطحی صورت می‌گیرد. مطالعات صورت گرفته در محدوده مطالعاتی قروه شامل مطالعات ژئوالکتریک، انجام حفاری چاه‌های اکتشافی و پیرومتری و آزمایش‌های پمپاژ چاه‌های اکتشافی و چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد.

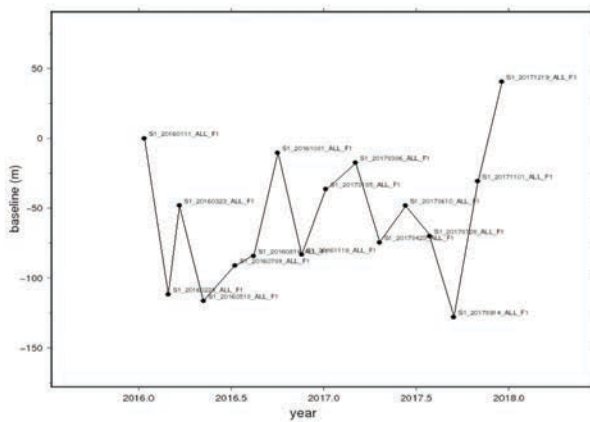
با انجام بررسی‌های اکتشافی، ضخامت و نحوه تغییرات

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
ارزیابی تأثیر افت آب‌های زیرزمینی بر میزان فرونشست ... / ۲۲۵

۰/۵۵- متر می‌باشد. کمترین میزان افت چاه‌ها مربوط به چاه‌های جنوبی دشت قروه است و میزان افت سطح آب به سمت مناطق شرقی و شمال شرقی دشت قروه بیشتر می‌شود.

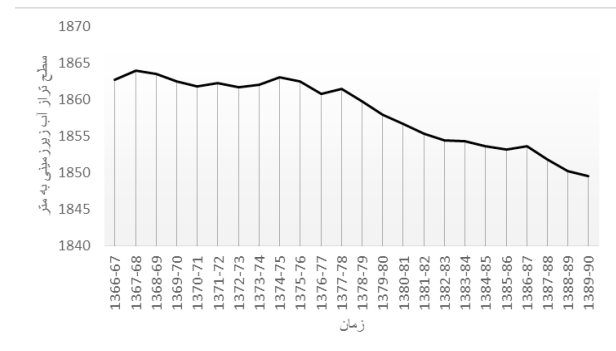
طبق هیدروگراف ارائه شده دشت قروه از سال ۱۳۷۷ تاکنون دارای افت مستمر سطح آب زیرزمینی می‌باشد. در نگاره ۳ روند افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی شهرستان قروه طی سال‌های ۱۳۵۱-۱۳۹۰ نشان داده شده که طی این دوره ۴۰ ساله افزایش بسیار چشم‌گیری داشته است (گروسی، ۱۳۹۵).

نگاره ۲: ارزیابی میزان فرونشست دشت قروه از تاریخ ۲۰۱۱/۰۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹. با توجه به آمارهای مذکور و افزایش بیش از حد از آب‌های زیرزمینی منطقه، فرونشست منطقه دور از انتظار نخواهد بود و با توجه به اهمیتی که این مخاطره دارد، در تحقیق حاضر میزان فرونشست دشت قروه از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹ با استفاده از ۱۶ تصویر راداری سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS برآورد شده است که برای این منظور، پس از تهیه تصاویر ابتدا وضعیت بیس لاین زمانی و مکانی تصاویر بررسی شده و بر اساس آن زوج تصاویر برای تشکیل اینترفروگرام انتخاب شده‌اند که در نگاره ۴ و جدول ۳ نشان داده شده است.

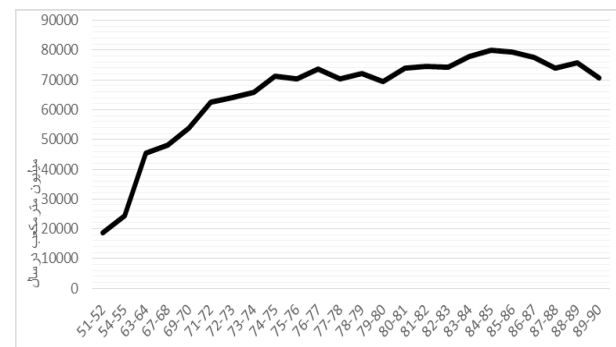


نگاره ۴: انتخاب تصاویر بر اساس کمترین خط مبنای زمانی و مکانی

۲۲۰۰ کیلومترمربع دارای بالغ بر ۳۳۰۰ چاه نیمه عمیق است که بیشتر در روستاهای دوسر، دیوزند، شکوه آباد و دزج، صندوق آباد و شهاب‌الدین قرار دارد و سالیانه ۱۰۷۷۶۱/۹ هزار مترمکعب آب از آن‌ها استخراج می‌شود. بالغ بر ۱۹۰۰ حلقه چاه عمیق با تخلیه سالیانه ۳۵۶۶۱۳/۹ هزار مترمکعب و همچنین ۱۹۲۴ دهنه چشمه و ۱۳۶ رشته قنات نیز در این دشت استقرار دارد. حداکثر آبدهی چشمه‌ها در دشت قروه مربوط به چشمه سراب کوثر است که آبدهی آن ۱۲۲ لیتر در ثانیه است (سالنامه آماری کشور ۱۳۹۰).



نگاره ۲: هیدروگراف آبخوان دشت قروه



نگاره ۳: روند افزایش بهره‌برداری از آب زیرزمینی در شهرستان قروه طی دوره مطالعاتی ۹۰-۵۱

در دشت قروه هیدروگراف آبخوان آبرفتی مربوط به سال‌های آبی ۶۷-۱۳۶۶ تا ۹۰-۱۳۸۹ تهیه شده است (نگاره ۲). طی دوره ۲۴ ساله نوسانات سطح آب زیرزمینی در این دشت ۱۳/۲۹- متر است که متوسط سالانه آن برابر با

جدول ۳: زوج تصاویر انتخابی برای تشکیل ایتترفروگرام

ردیف	زوج تصاویر	ردیف	زوج تصاویر
۱	۲۰۱۶۰۲۲۸-۲۰۱۶۰۱۱۱	۹	۲۰۱۷۰۳۰۶-۲۰۱۷۰۱۰۵
۲	۲۰۱۶۰۳۲۳-۲۰۱۶۰۲۲۸	۱۰	۲۰۱۷۰۴۲۳-۲۰۱۷۰۳۰۶
۳	۲۰۱۶۰۵۱۰-۲۰۱۶۰۳۲۳	۱۱	۲۰۱۷۰۶۱۰-۲۰۱۷۰۴۲۳
۴	۲۰۱۶۰۷۰۹-۲۰۱۶۰۵۱۰	۱۲	۲۰۱۷۰۷۲۸-۲۰۱۷۰۶۱۰
۵	۲۰۱۶۰۸۱۴-۲۰۱۶۰۷۰۹	۱۳	۲۰۱۷۰۹۱۴-۲۰۱۷۰۷۲۸
۶	۲۰۱۶۱۰۰۱-۲۰۱۶۰۸۱۴	۱۴	۲۰۱۷۱۱۰۱-۲۰۱۷۰۹۱۴
۷	۲۰۱۶۱۱۱۸-۲۰۱۶۱۰۰۱	۱۵	۲۰۱۷۱۲۱۹-۲۰۱۷۱۱۰۱
۸	۲۰۱۷۰۱۰۵-۲۰۱۶۱۱۱۸	-	

مسئله اختصاص یابد. در تحقیق حاضر نیز با توجه به اهمیت موضوع و منطقه مورد مطالعه، به ارزیابی میزان فرونشست و ارتباط آن با بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی پرداخته شده است.

مطالعات پیشین در مورد فرونشست بیشتر بر مبنای پهنه‌بندی و بر اساس لایه‌های اطلاعاتی صورت گرفته و مناطق مستعد فرونشست شناسایی شده است و در بسیاری از تحقیقات نیز فقط به بررسی وضعیت آبخوان و میزان افت آن پرداخته شده است و همچنین اخیراً نیز تحقیقات مختلفی به منظور برآورد فرونشست صورت گرفته ولی این مطالعات بدون توجه به وضعیت آبخوان‌های منطقه صورت گرفته است.

تحقیق حاضر برخلاف بسیاری از تحقیقات پیشین علاوه بر بررسی وضعیت آبخوان منطقه، میزان فرونشست منطقه و ارتباط این فرونشست با وضعیت آبخوان را مورد ارزیابی قرار داده است. در واقع استفاده از داده‌های چاه‌های پیژومتری به منظور اعتبارسنجی نتایج بدست آمده از طریق روش سری زمانی SBAS بوده است. نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر بیانگر این است که دشت قروه در طی سال‌های اخیر با افت شدید سطح آب زیرزمینی همراه بوده است. با توجه به اینکه مناطق جنوبی دشت قروه منطبق بر ارتفاعات و دامنه‌های بدر و پریشان است و میزان بهره‌برداری

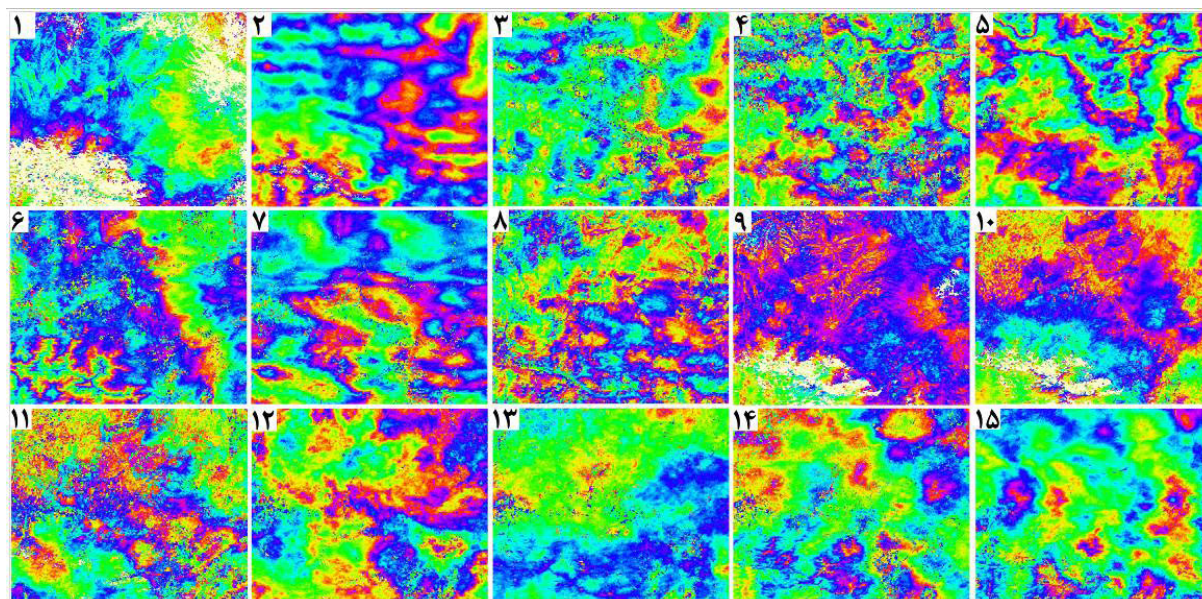
پس از انتخاب تصاویر مورد نظر، ایتترفروگرام تصاویر تهیه شده است (نگاره ۵). پس از تهیه ایتترفروگرام، با استفاده از روش سری زمانی SBAS میزان فرونشست منطقه برآورد شده است (نگاره ۶).

ارزیابی نقشه نهایی بیانگر این است که محدوده مطالعاتی طی بازه زمانی مورد مطالعه ۲۱۶ میلیمتر فرونشست و ۶۱ میلیمتر نیز بالآمدگی داشته است که کمترین میزان فرونشست مربوط به مناطق جنوبی دشت قروه و منطبق بر ارتفاعات و دامنه‌های بدر و پریشان است و به سمت مناطق شرقی و غربی دشت قروه میزان فرونشست بیشتر شده و بیشترین مقدار آن به ۲۱۶ میلیمتر در طی ۲ سال رسیده است. ارزیابی نتیجه نهایی حاصل از تداخل سنجی راداری با داده‌های مربوط به وضعیت آبخوان دشت قروه بیانگر انطباق نتایج به دست آمده است، چرا که مطابق نتایج ارزیابی وضعیت آبخوان‌های دشت قروه، در مناطق شرقی و غربی دشت قروه میزان افت آب زیرزمینی بیشتر بوده است و به موازات آن میزان فرونشست نیز در این مناطق بیشتر بوده است.

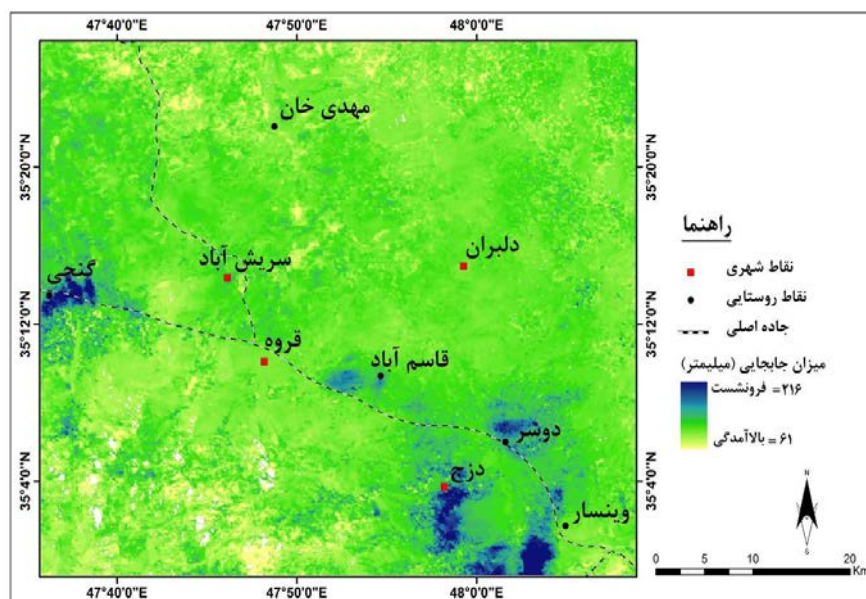
نتیجه‌گیری

اهمیت فرونشست زمین سبب شده است تا امروزه بسیاری از تحقیقات بخصوص در زمینه مخاطرات به این

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ارزیابی تأثیر افت آب‌های زیرزمینی بر میزان فرونشست ... / ۲۲۷



نگاره ۵: نقشه اینترفروگرام‌های تهیه شده



نگاره ۶: نقشه میزان جابجایی منطقه (بازه زمانی ۲۰۱۶/۰۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹)

انطباق میزان فرونشست با میزان افت آب‌های زیرزمینی است.

نتایج حاصل از روش SBAS بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۲ ساله دارای ۲۱۶ میلیمتر فرونشست و همچنین ۶۱ میلیمتر بالآمدگی بوده است که براساس نتیجه نهایی، بیشترین میزان فرونشست

از آب‌های زیرزمینی کمتر است میزان افت کمتری داشته و به سمت مناطق شرقی و غربی و همچنین شمالی دشت قروه به دلیل افزایش روزافزون بهره‌برداری، میزان افت بیشتر داشته است. با توجه به هدف اصلی تحقیق، میزان فرونشست محدوده مطالعاتی با استفاده از روش سری زمانی SBAS محاسبه شده که نتایج به دست آمده بیانگر

قزوین، نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره پنجم، شماره ۴.

۳. پیری، رحمانی؛ حامد، ابوالفضل (۱۳۹۵)، بررسی میزان فرونشست شمال دریاچه ارومیه با استفاده از روش تداخل سنجی راداری اینترفرومتری InSAR (مطالعه موردی: دشت تسوج)، کنفرانس بین‌المللی پیامدهای جغرافیایی و اثرات زیست‌محیطی شرایط دریاچه ارومیه.

۴. حقیقت‌مهر، ولدان زوج، تاجیک، جباری، صاحبی، اسلامی، گنجیان، دهقانی؛ پریسا، محمدجواد، رضا، سعید، محمودرضا، رضا، مصطفی، مریم (۱۳۹۱)، تحلیل سری زمانی فرونشست هشتگرد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و سامانه موقعیت‌یابی جهانی، مجله علوم زمین، سال ۲۲، شماره ۸۵، صص ۱۱۴-۱۰۵.

۵. شریفی کیا، محمدرضا (۱۳۹۱)، تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل‌سنجی راداری (D-InSAR) در دشت نوق- بهرمان، مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۳، صص ۷۷-۵۵.

۶. علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۳)، ژئومورفولوژی ایران، انتشارات قومس، چاپ سوم، تعداد صفحات ۳۸۸.

۷. گروسی، لیلا (۱۳۹۵)، امکان‌سنجی توسعه اراضی زراعی با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی (مطالعه موردی شهرستان قروه)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.

۸. گنجائیان، حمید (۱۳۹۵)، هیدروژئومورفولوژی و پایداری آبراهه حوضه رود شور با مدیریت اهداف توسعه شهری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.

۹. میرشاهی، ولدان زوج، دهقانی، هاشمی امین‌آبادی؛ فاطمه‌السادات، محمدجواد، مریم، سیدجواد (۱۳۹۲)، اندازه‌گیری فرونشست سطح زمین به کمک تکنیک تداخل سنجی راداری با استفاده از تصاویر TerraSAR-X، بیستمین همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری، تهران.

10. Agustan, A., Sulaiman, A., Ito, A (2016), Measuring

مربوط به مناطق شرقی و غربی دشت قروه و حاشیه شهر دزج و روستاهای صندوق آباد، قاسم آباد، شکوه‌آباد، آونگان، گنجی و ... بوده است. همچنین در مناطق جنوبی محدوده منطبق بر دامنه‌های بدر و پریشان، میزان فرونشست در طی بازه زمانی ۲۰۱۶/۰۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹ حدود ۱۰ میلیمتر بوده و در مناطقی نیز به میزان ۶۱ میلیمتر بالاآمدگی داشته است. مجموعه‌ای از عوامل مذکور بیانگر این است که دشت قروه سالانه حدود ۱۰ سانتیمتر فرونشست دارد. با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی از نظر تکتونیکی به صورت غیرفعال و فاقد گسل‌های مهم و اصلی است و همچنین به دلیل انطباق نتایج تداخل سنجی با داده‌های آمار می‌توان گفت که این مقدار ناشی از بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

در واقع، بر خلاف بعضی از مناطق که مسئله جابجایی (فرونشست و بالاآمدگی) ناشی از وضعیت تکتونیکی منطقه است، نتایج تحقیق حاضر نشان داده که در دشت قروه میزان فرونشست رابطه مستقیمی با افت آب‌های زیرزمینی دارد، بنابراین لازم است تا در مصرف آب‌های زیرزمینی بخصوص در زمینه کشاورزی نظارت بیشتری صورت گیرد و میزان بهره‌برداری متناسب با میزان تغذیه باشد چرا که تداوم روند استفاده از آب‌های زیرزمینی علاوه بر مسائل و مشکلات مربوط به کم آبی می‌تواند منجر به مخاطرات جبران‌ناپذیر ناشی از فرونشست شود.

منابع و مآخذ

۱. انگورانی، معماریان، شریعت پناهی، بلورچی؛ سعید، حسین، مسعود، محمدجواد (۱۳۹۴)، مدل‌سازی پویای فرونشست دشت تهران، مجله علوم زمین، سال بیست و پنجم، شماره ۹۷، صفحه ۲۱۱ تا ۲۲۰.
۲. بابایی، موسوی، روستایی؛ سیدساسان، زهرا، مه‌آسا؛ (۱۳۹۵)؛ آنالیز سری زمانی تصاویر راداری با استفاده از روش‌های طول خط منبای کوتاه (SBAS) و پراکنش کننده‌های دائمی (PS) در تعیین نرخ فرونشست دشت

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
ارزیابی تأثیرات آب‌های زیرزمینی بر میزان فرورفتگی ... / ۲۲۹

(2004), "Review on Current Status and Challenging Issues of Land Subsidence in China", Elsevier Science-Engineering Geology, Vol. 76, Pp. 65-77

Deformation in Jakarta through Long Term Synthetic Aperture Radar (SAR) Data Analysis, 2nd International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing (ICOIRS).

11. Bates, R.L. and J.A. Jackson (1980), Glossary of Geology (Second edition): Falls Church, Virginia. American Geological Institute, 749 p.

12. 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(0), pp 150-161.

13. Daniel, R. C., Maisons, C., Carnec, S., Mouelic, L., King, C. & Hosford, S (2003), Monitoring of slow ground deformation by ERS radar interferometry on the Vauvert salt mine (France) Comparison with ground-based measurement, Remote Sensing of Environment, 88: 468-478.

14. Declercq, P., Walstra, J., Gérard, P., Pirard M E., Perissin, D., Meyvis, B., Devleeschouwer, X (2017), A Study of Ground Movements in Brussels (Belgium) Monitored by Persistent Scatterer Interferometry over a 25-Year Period, Geosciences 7040115

15. Dinh Ho. T. M., Le. V. T., Thuy. L. T (2015), Mapping Ground Subsidence Phenomena in Ho Chi Minh City through the Radar Interferometry Technique Using ALOS PALSAR Data, Remote Sens, 7, 8543-8562

16. Du, Y., Feng, G., Peng, X., Li, Z (2017), Subsidence Evolution of the Leizhou Peninsula, China, Based on InSAR Observation from 1992 to 2010, Appl. Sci. 2017, 7, 466; doi:10.3390/app7050466

17. Ge, L., Chang, H.C., Rizos, C (2007), Mine subsidence monitoring using multi-source satellite SAR images. Photogramm. Eng. Remote Sens. 73, 259-266.

18. Hanssen, R. F (2001), Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.

19. Hay-Man, A., Chung, H Ge, L., Rizos, Ch., Omura, M (2009), Assessment of radar interferometry performance for ground subsidence monitoring due to underground mining, Earth Planets Space, 61, 733-745

20. Hua, R. L., Z. Q. Yueb, L. C. Wanga & S. J. Wang

