

اندازه‌گیری میزان جابجایی سطح زمین ناشی از زلزله ۱۳۸۳ داهوئیه (زرنند) استان کرمان و شناسایی گسل عامل آن با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری

علی مهرابی - استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه شهید باهنر کرمان.
محسن پورخسروانی* - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه شهید باهنر کرمان.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۱۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۴/۲۱

چکیده

در تاریخ ۴ اسفند ۱۳۸۳ زمین لرزه ای به بزرگی ۶/۴ ریشتر شرق شهر زرنند در استان کرمان را لرزاند. در ابتدا عامل این زلزله گسل کوهبنان پنداشته شد، ولیکن مطالعات بیشتر نشان می‌دهد که یکی از گسله‌های فرعی باعث این زلزله بوده است. در این تحقیق بر آن شدیم تا با استفاده از تصاویر راداری به بررسی و مدل سازی میزان تغییرات و جابجایی‌های رخ داده در سطح زمین بر اثر این زلزله پرداخته و گسله عامل زمین لرزه را شناسایی کنیم. بدین منظور دو تصویر راداری ASAR از ماهواره ENVISAT یکی مربوط به قبل و یکی مربوط به بعد از تاریخ رخداد زلزله به سازمان فضایی اروپا سفارش و در اختیار قرار گرفت. ابتدا با اعمال فیلتر خطاهای احتمالی از جمله خطاهای اسپکل و نویز، را رفع نموده و سپس با انجام عملیات رفع ابهام فاز عملیات تهیه نقشه جابجایی انجام می‌گیرد. آنالیز تداخل سنجی بر روی تصویر بالارو ماهواره Envisat نشان می‌دهد که بر اثر شدت ناشی از زلزله منطقه‌ای در بخش شمالی بلا فصل کانون سطحی زلزله به مساحت ۱۰۰ کیلومتر مربع دچار بالا آمدگی شده و حداکثر میزان برآزش آن به ۳۴ سانتی متر نیز می‌رسد. همچنین محدوده‌ای در حدود ۱۵۰ کیلومتر مربع در بخش جنوبی کانون سطحی، به میزان ۲۴ سانتیمتر دچار فرو افتادگی شده است. بر اساس نتایج به دست آمده گسل مسبب زلزله، گسلی با روند شرقی- غربی با مولفه راندگی و طول ۲۰ کیلومتر می‌باشد.

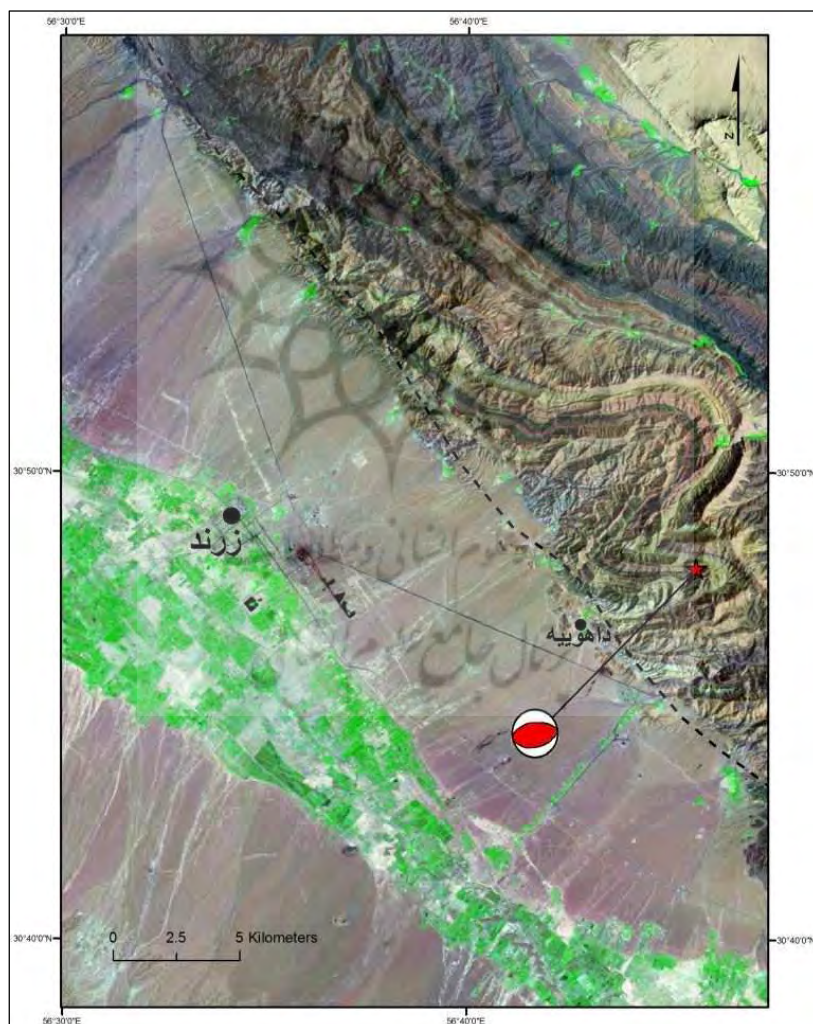
واژگان کلیدی: تداخل سنجی راداری، جابجایی، گسل کوهبنان، زلزله داهوئیه، تصاویر ماهواره Envisat

مقدمه

استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در جهت استخراج خطواره‌های گسلی و شناسایی گسل‌ها بسیار متداول می‌باشد (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۴، ۴۵ و یاساچی^۱، ۲۰۰۶، ۳۵). ولیکن کاربرد تصاویر راداری در زمینه گسل‌ها امری نوظهور بوده و تا کنون کمتر کار شده است (ملکی و همکاران، ۱۳۹۳، ۴۵). بدلیل اینکه تصاویر راداری علاوه بر اندازه گیری شدت سیگنال، اطلاعات فاز را نیز با خود همراه دارند لذا می‌توان با استفاده از اطلاعات فاز و به روش تداخل سنجی راداری (اینترفرومتری) از آنها در مطالعات گسل‌ها و زمین لرزه استفاده کرد (رایت و همکاران^۲، ۱۹۹۹، ۲۱۳، سیمونز و همکاران^۳، ۲۰۰۲، ۱۴۵ و کو و همکاران^۴، ۲۰۱۷، ۷۸). از آنجائیکه که سطح زمین به مرور زمان دچار تغییرات ژئومورفولوژیکی مختلفی همچون فرورانش و بالاآمدگی بدلیل عوامل طبیعی مختلف می‌شود، و در اغلب روش‌های ژئودتیکی اندازه گیری جا به جایی پوسته زمین از قبیل مثلث بندی سه پهلو و سامانه موقعیت سنجی جهانی به ترازایی و نقشه برداری های مکرر زمینی نیاز است، روش تداخل سنجی راداری ضمن پوشش دادن منطقه وسیعی از زمین، احتیاج به نقشه برداری زمینی ندارد. از طرف دیگر در مقایسه با فنونی همچون سامانه موقعیت یاب جهانی و ترازایی که اندازه گیری نقطه‌ای به دست می‌دهند، این روش ضمن اینکه بیان دو بعدی از تغییرات سطح را عملی می‌سازد، وسعتش نسبت به روش‌های نقطه‌ای نیز بیشتر است (رهنمون فر و همکاران، ۱۳۸۲، ۳۴). بنابراین با توجه به توانایی و قابلیت تصاویر رادار در تعیین میزان تغییرات و جابه جایی‌های اتفاق افتاده بر روی سطح زمین در بازه زمانی خاص، می‌توان از این تصاویر در این زمینه به خوبی بهره برد (بورگمان و همکاران^۵، ۲۰۰۰: ۱۲۰، تایماز و همکاران^۶، ۲۰۰۷، ۸۷ و امارجارگال و همکاران^۷، ۲۰۱۳، ۷۵). با توجه به اهمیت موضوع و دقت این تکنیک در پایش تغییرات سطح زمین تاکنون مطالعات مختلفی در این زمینه صورت گرفته است. از جمله، در ایران از تصاویر راداری در مطالعه و بررسی تغییرات سطحی ناشی از زلزله سال ۸۲ بم استفاده شده است در این مطالعات با استفاده از تکنیک تداخل سنجی گسل عامل زلزله بم را شناسایی کردند، به طوریکه قبل از آن گسل قدیمی بم به عنوان مسبب زلزله معرفی شده بود ولی با این مطالعات گسل دیگری به عنوان گسل ارگ بم عامل زلزله شناخته شد (یی^۸، ۲۰۰۵، ۱۲۱، ناکامورا و همکاران^۹، ۲۰۰۴، ۹۳ و استراموندو و همکاران، ۲۰۰۵، ۱۹۸). همچنین شکرزاده و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای تحت عنوان، بررسی مکانیزم‌های شرکت کننده در جابجایی‌های بعد لرزه‌ای، زلزله بم با استفاده از تصاویر راداری بیان می‌کنند که، بیشتر جابجایی‌های بعد لرزه‌ای با مکانیزم لغزش گسل قابل بیان است و لغزش گسل به عنوان محتمل‌ترین مکانیزم شرکت کننده در جابجایی‌های بعد لرزه‌ای بم محسوب می‌شود. در پژوهشی دیگر سیگنا و همکاران (۲۰۱۲) ضمن استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری برای مانیتورینگ میزان جابجایی در سطح زمین و خطر زمین شناسی ناشی از آن در منطقه موریلیای کشور مکزیک، نتیجه می‌گیرند که آنالیز داده‌ها جابجایی ۷ تا ۸ سانتی‌متری در سال را در جهت موازی با گسل اصلی نشان می‌دهند. استان کرمان یکی از لرزه خیزترین پهنه‌های ایران محسوب می‌شود، به طوریکه تاکنون شاهد زلزله‌های مخرب زیادی بوده است از جمله زلزله چترود

1. Yassaghi
2. Wright et al
3. Simons et al
4. Qu et al
5. Burgmann et al
6. Taymaz et al
7. Amarjargal et al
8. Ye
9. Nakamura et al
10. Signa, et al

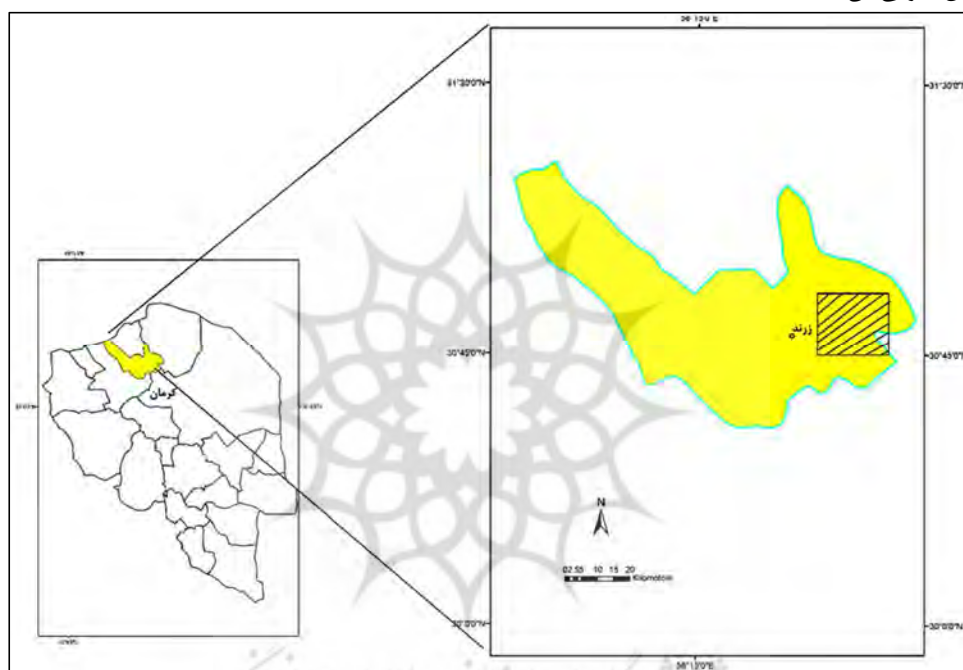
سال ۱۲۴۳ با بزرگی ۶٫۰ کوهبنان سال ۱۲۷۴ با بزرگی ۶٫۰ راور سال ۱۲۹۰ با بزرگی ۶٫۷ سیرج-گلباف سال ۱۳۶۰ با بزرگی ۶٫۸ و بم سال ۱۳۸۲ با بزرگی ۶٫۴ به طوریکه همه این زلزله‌ها با سیستم گسل کوهبنان با طول حدود ۳۰۰ متر مرتبط می‌باشند (آمبراسیز و ملویل، ۱۹۸۲، ۷۸). در تاریخ ۴ اسفند ۱۳۸۳، ساعت ۵ و ۵۵ دقیقه و ۲۲ ثانیه به وقت محلی زلزله‌ای با بزرگی ۶٫۴ ریشتر بخش شرقی شهرستان زرنده را به لرزه درآورد (شکل ۱). موسسه ژئوفیزیک مرکز این زمین لرزه را حوالی روستای داهوئییه زرنده معرفی کرد. بر اثر این زلزله حدود ۶۰ روستا به کلی تخریب و ۶۱۲ نفر جان سپردند. در ابتدا به دلیل نزدیکی مرکز سطحی زمینلرزه به گسل کوهبنان، به نظر می‌رسید که این گسل احتمالا باید عامل زلزله باشد. ولیکن نعمتی و قیطانچی (۲۰۱۱) با استفاده از پردازش و بررسی پس لرزه های ثبت شده و الگوی سرعتی پرتو P در منطقه، یک از گسل های فرعی گسل کوهبنان با راستای شرقی غربی، با شیب نزدیک به قائم و با درازای نزدیک به ۱۵ تا ۲۰ کیلومتر را به عنوان گسل مسبب این زلزله پیشنهاد کردند. همچنین همانطور که در شکل (۱) مشاهده می شود بر اساس مکانیزم کانونی زلزله، گسل مسبب زلزله از نوع راندگی بوده است. موضوعی که در این تحقیق برآینم تا با استفاده از تصاویر راداری و روش تداخل سنجی آنرا بررسی کرده و به اثبات برسانیم.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه، علامت ستاره کانون سطحی زلزله (پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله) را نشان می دهد. مکانیزم کانونی زلزله (Global CMT Catalog). خط چین موقعیت گسل کوهبنان می باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در استان کرمان ما بین عرض‌های جغرافیایی $30^{\circ} 46'$ تا $30^{\circ} 50'$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $56^{\circ} 40'$ تا $56^{\circ} 48'$ شرقی، و در فاصله ۲۰ کیلومتری شرق شهرستان زرنند واقع شده است. راه دسترسی به منطقه، جاده اصلی کرمان- زرنند می‌باشد. این ناحیه از نظر آب و هوا جزو اقلیم نیمه کوهستانی قرار گرفته و دارای تابستان‌های خنک و زمستان‌های سرد است. نزدیکترین روستا به محدوده مورد مطالعه روستای داهوئیه می‌باشد. به لحاظ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه بخشی از رشته کوه‌های ایران مرکزی بوده و بیشتر از سازندهای ماسه سنگی داهو و ریزو تشکیل شده است. مهمترین گسل منطقه نیز گسل کوهبنان می‌باشد که با طولی در حدود ۳۰۰ کیلومتر جدا کننده دشت زرنند از ارتفاعات بخش شمال شرقی آن است.



شکل ۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

روش تحقیق در پژوهش حاضر، توصیفی-تحلیلی، از نوع کاربردی است. جهت انجام این پژوهش در ابتدا اطلاعات مربوط به کانون سطحی و موقعیت زلزله ۱۳۸۳ داهوئیه زرنند از سایت پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله^۱ اخذ شد، سپس دو تصویر راداری ASAR از ماهواره ENVISAT یکی مربوط به قبل و یکی مربوط به بعد از تاریخ رخداد زلزله در قالب یک طرح پژوهشی از سازمان فضایی اروپا^۲ تهیه گردید. تصویری که مربوط به قبل از رخداد زلزله باشد را تصویر پایه^۳ و تصویری که مربوط به بعد از آن می باشد تصویر پیرو^۴ نامند. این تصاویر هر دو بصورت بالارو^۵ تصویربرداری شده‌اند. سعی شد تا تصاویر مورد استفاده دارای حداقل خط مبنا (فاصله بین مسیر های پرواز ماهواره) باشند، چون در تکنیک تداخل سنجی هر چه فاصله مبنای مکانی داده‌ها کمتر باشد تغییرات جابجایی سطح زمین را بهتر نمایش می‌دهند.

1. IIEES
2. ESA
3. Master
4. Slave
5. Descending

اطلاعات مربوط به تصاویر و فاصله مبنا آنها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین از نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ از محدوده زلزله زده جهت تهیه مدل رقومی ارتفاعی^۱ استفاده گردید. پردازش ها و تکنیک تداخل سنجی از طریق افزونه Sarscape 4.3 مربوط به نرم افزار Envi صورت پذیرفت و در این راستا از نرم افزار ArcGIS 10.3 نیز استفاده شد. مراحل انجام تحقیق در شکل شماره ۲ مشاهده می شود.

جدول ۱: اطلاعات مربوط به تصاویر و فاصله مبنا آنها

زوج تصویر	فاصله مبنا (متر)	فاصله مبنا بحرانی	ابهام ارتفاعی	جابجایی رنج	جابجایی آزیموت	داپلر سنترئوئید	داپلر سنترئوئید بحرانی
۲۰۰۴/۱۲/۰۹ (تصویر پایه) /۱۲/۲۹ ۲۰۰۵ (تصویر پیرو)	۵۱/۰۳۹	۹۳۱/۶۵۷	۱۸۰/۴۰۳	۴/۲۵۱	-۸۵/۰۶۱	-۲۴/۲۳۸	۱۶۵۲/۴۱۶



شکل ۳: فلوجارت روش تداخل سنجی راداری

۱. DEM

تداخل سنجی راداری

فن آوری تداخل سنجی راداری^۱ اولین بار توسط گابریل و همکارانش در سال ۱۹۸۹ با استفاده از ۳ تصویر استفاده شد. این فنآوری امکان تشخیص تغییرات بسیار کوچک در مقیاس روزانه تا سالانه را در سطح زمین و در ابعاد جهانی، با دقت میلیمتر و با قابلیت اعتماد زیاد در شب و روز و در هر شرایط آب و هوایی فراهم می‌سازد. استفاده عمده از این روش در مطالعه زمین لرزه اغلب روی تغییرات و جابجایی‌های حاصل از زمین لرزه و بررسی تصاویر راداری قبل و بعد از آن، و استفاده از آن در خصوص ارزیابی مقدار جابجایی زمین در نواحی گسل‌ها و شناسایی سازوکار آنها در زمان زلزله می‌باشد (لیویو و همکاران^۲، ۲۰۱۷، ۱۴۶، رایت و همکاران^۳، ۲۰۰۴، ۱۶۵). در روش تداخل سنجی راداری دو تصویر SAR که توسط آنتن‌های مخصوص نصب شده بر روی ماهواره یا هواپیما اخذ شده‌اند با هم ترکیب می‌شوند تا نقشه تغییر شکل پوسته زمین حاصل شود. البته لازم به ذکر است که یکی دیگر از محصولات این روش، مدل رقومی زمین (DEM) است. تداخل نگاشت‌ها با ضرب تصویر اول بعنوان Master در مزدوج تصویر دوم بعنوان Slave که به صورت اعداد مختلط هستند، حاصل می‌شوند. نتیجه این حاصل ضرب شامل اختلاف فاز دو تصویر خواهد بود. حلقه‌های (فرینج‌های) حاصله معرف جابجایی پوسته زمین در راستای دید ماهواره و در حد فاصله زمانی اخذ دو تصویر هستند. همانطور که از رابطه ۱ مشخص می‌شود، فاز تداخل نگاشت مشاهده شده مجموع چند مولفه است:

$$\Phi_{int} = \Phi_{topo} + \Phi_{disp} + \Phi_{atm} + \Phi_{orb} + \Phi_{noise} \quad (1)$$

مولفه‌های این معادله به ترتیب عبارتند از: اثر فاز مولفه توپوگرافی، سیگنال جابجایی پوسته، اثر مولفه اتمسفر، اثر مولفه مداری و نویز، در اینجا هدف اصلی یافتن مولفه جابجایی پوسته زمین است که با از بین بردن و یا کاهش اثرات مولفه‌های دیگر انجام می‌شود اثر مدار با استفاده از پارامترهای دقیق مدار ماهواره نظیر پارامترهای مداری، کاهش می‌یابد. همچنین میزان باقیمانده خطای مداری نیز می‌تواند به صورت یک ترند کلی از نتایج حذف شود. اثر اتمسفر در مناطق گرم و خشک به دلیل عدم وجود رطوبت معمولاً صفر در نظر گرفته می‌شود. اثر مولفه توپوگرافی نیز توسط یک مدل رقومی زمین قابل حذف یا کاهش است. با حذف اثرات مزاحم، حلقه‌هایی به دست می‌آید که هر سیکل آنها معادل جابجایی پوسته زمین به میزان نصف طول موج رادار، برای ENVISAT معادل ۲۸ میلیمتر در امتداد خط دید ماهواره خواهد بود.

بحث و یافته‌ها

دو تصویر راداری ASAR به دلیل اینکه یکی قبل از زلزله و دیگری بعد از زلزله برداشت شده است پس می‌تواند تغییرات و اثرات ناشی از زلزله بر سطح زمین را به صورت فاز جابجایی نمایش بدهد. بنابراین با استفاده از تصاویر پایه و پیرو و با خط مبنای مکانی حدود ۵۱ متر تداخل نگاشت تهیه و اثر توپوگرافی به وسیله مدل ارتفاع رقومی منطقه، از آن برداشته شد. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود در تصویر تداخل نگاشت بدست آمده در محل مرکز سطحی زلزله یکسری فرینج‌هایی ایجاد شده است. از آنجایی که ماهواره مورد استفاده (Envisat) در باند C کار می‌کند و هر فرینج به دست آمده $\lambda/2$ معادل ۲/۸ سانتی متر است، مقدار جابجایی در جهت دید ماهواره با شمردن تعداد فرینج‌ها به دست می‌آید. با توجه به نحوه قرار گیری سیکل رنگی مشاهده شده میزان جابجایی نیز متفاوت می‌باشد، بطوریکه اگر سیکل رنگی زرد-آبی-قرمز باشد، جابجایی دور از رادار و اگر سیکل رنگی زرد-قرمز-آبی باشد جابه جایی به سمت رادار اتفاق افتاده است. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود فرینج‌های شمالی و جنوبی هر دو در دو نقطه شرقی و غربی به هم رسیده و محو می‌شوند دقیقاً به مانند دو قطب یک میدان مغناطیسی، اگر این دو قطب را با یک خط به هم وصل کنیم بخش بالایی

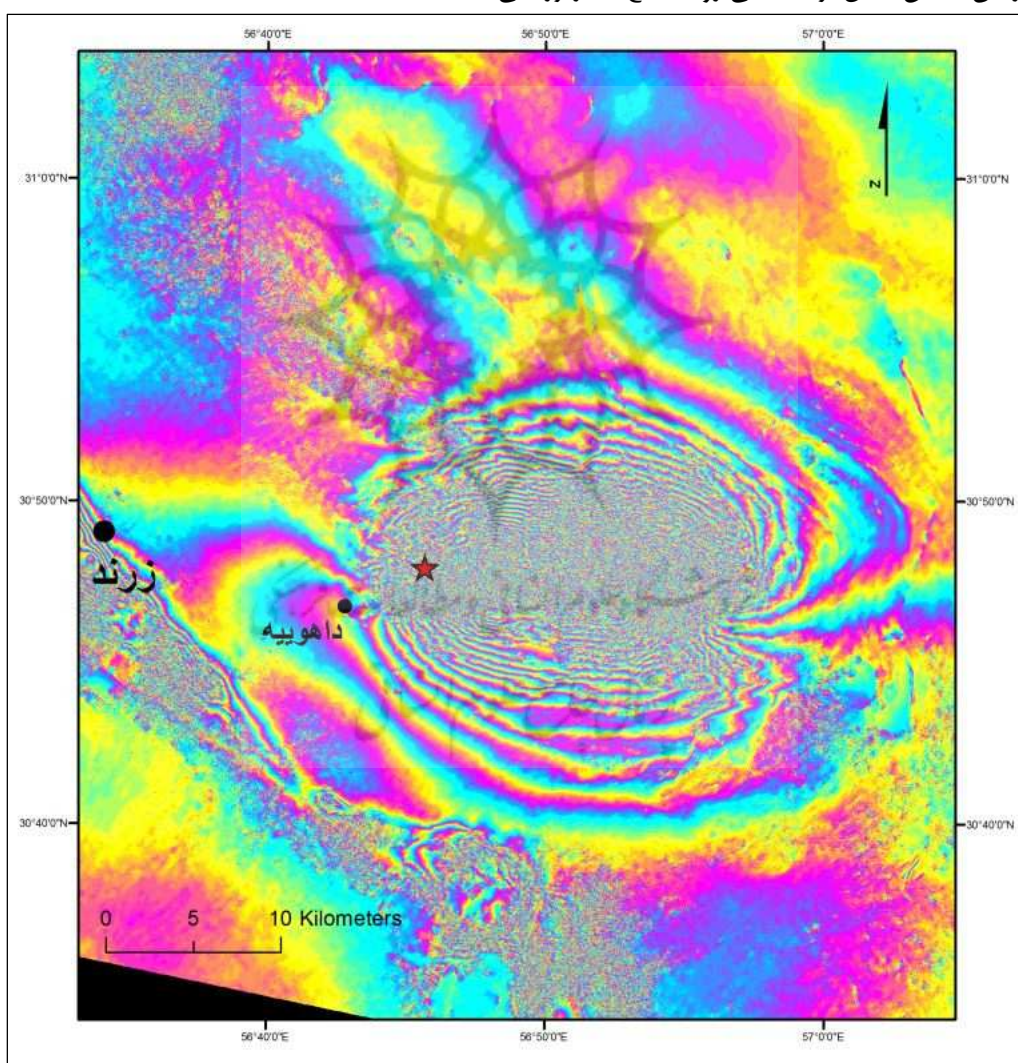
1. InSAR

2. Livio et al

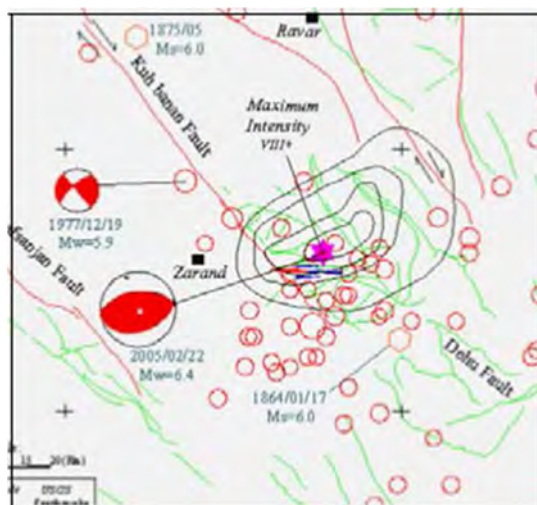
3. Wright et al

این خط دچار بالاآمدگی و بخش پایینی آن دچار فرو افتادگی شده است و تقریباً همین خط را می‌توان به عنوان گسل مسبب زلزله فرض کرد.

همواره در زمان رخداد زلزله از کانون زلزله به اطراف معمولاً شدت زلزله به یک نسبت کاهش می‌یابد و با بررسی شتابنگاشت‌های موجود در منطقه می‌توان مناطق هم شدت را بصورت خطوطی ترسیم کرد که در ژئوفیزیک به آن منحنی‌های هم لرزش گفته می‌شود. این منحنی‌های هم لرزش برای زلزله داهوییه نیز تهیه شده است (شکل ۴) (نعمتی و قیطانچی، ۲۰۱۱، ۳). با مقایسه این منحنی‌ها با سیکل‌های رنگی و فرینج‌های ایجاد شده در تداخل نگاشت شکل شماره ۳ می‌توان به شباهت هر دو تصویر پی برد و در حقیقت می‌توان اینگونه بیان کرد که تداخل نگاشت تهیه شده نشان دهنده تغییر شکل هم لرزشی در منطقه نیز می‌باشد. در بخش‌های جنوب غربی شکل (۴) مناطقی شامل فرینج‌های متعدد مشاهده می‌شود که با توجه به منطبق بودن این مناطق بر دشت‌ها و باغات پسته شهرستان زرنند، می‌توان اینها را به علت فرونشست زمین در این مناطق بدلیل برداشت بی رویه منابع آب زیرزمینی دانست.



شکل ۴: ایجاد تداخل نگاشت هم لرزه‌ای ناشی از زلزله، سیکل رنگی زرد-آبی-قرمز جابه جایی دور از رادار و سیکل رنگی زرد-قرمز-آبی جابه جایی به سمت رادار را نشان می‌دهد.

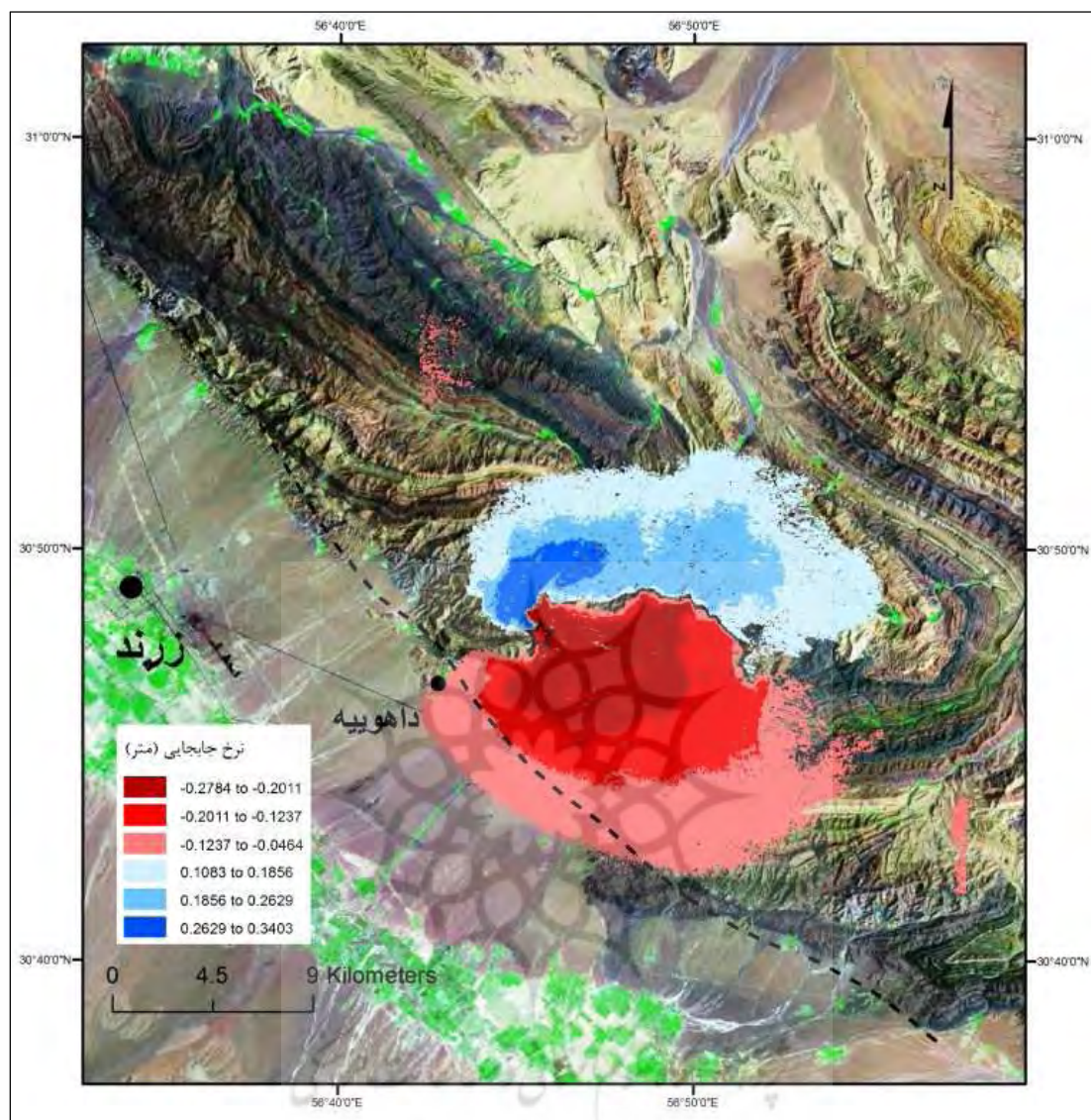


شکل ۵: منحنی‌های هم لرزش بدست آمده از آنالیز داده‌های شتاب نگاشت‌ها مربوط به زلزله ۱۳۸۳ داهوئیه (نعمتی و قبطانچی، ۲۰۱۱، ۳)

تهیه نقشه جابجایی سطحی

قبل از اینکه از تداخل نگاشت تهیه شده بتوان نقشه جابجایی سطحی منطقه را تهیه کرد، باید با اعمال فیلترینگ خطاهای احتمالی از جمله خطای اسپکل و نویز، را رفع نمود. از آنجا که اطلاعات فاز یک تداخل نگاشت در مقیاس 2π است یک مشکل مبهم در محاسبه تعداد صحیح سیکل‌های فاز وجود دارد که جهت به دست آوردن فواصل، باید بازه مایل به مشاهدات فاز اضافه گردد. این حل ابهام به عنوان حل ابهام فاز^۱ شناخته می‌شود. به فرآیند بازیابی مقادیر فاز نامبهم و صحیح از یک مجموعه دوبعدی مقادیر فاز که در بازه $(-\pi, \pi)$ است، بازیابی فاز دو بعدی گفته می‌شود. و در نهایت با انجام و اعمال فیلتر و حل ابهام فاز، نقشه جابجایی ناشی از رخداد زلزله تهیه شد (شکل ۵). همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، دقیقاً اختلاف جابجایی از نقطه مربوط به کانون سطحی زلزله شروع شده است. محدوده شمال این نقطه دچار بالاآمدگی و بخش پایین آن دچار افتادگی شده است. منطقه‌ای در حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع دچار بالاآمدگی شده که میزان برآزش آن حداکثر به ۳۴ سانتیمتر نیز می‌رسد. به سمت پایین مرکز زلزله محدوده ای ۱۵۰ کیلومتری دچار افتادگی سطحی تا ۲۰ سانتی متر شده است.

¹. Phase Unwrapping



شکل ۶: میزان جابجایی رخ داده به علت زلزله

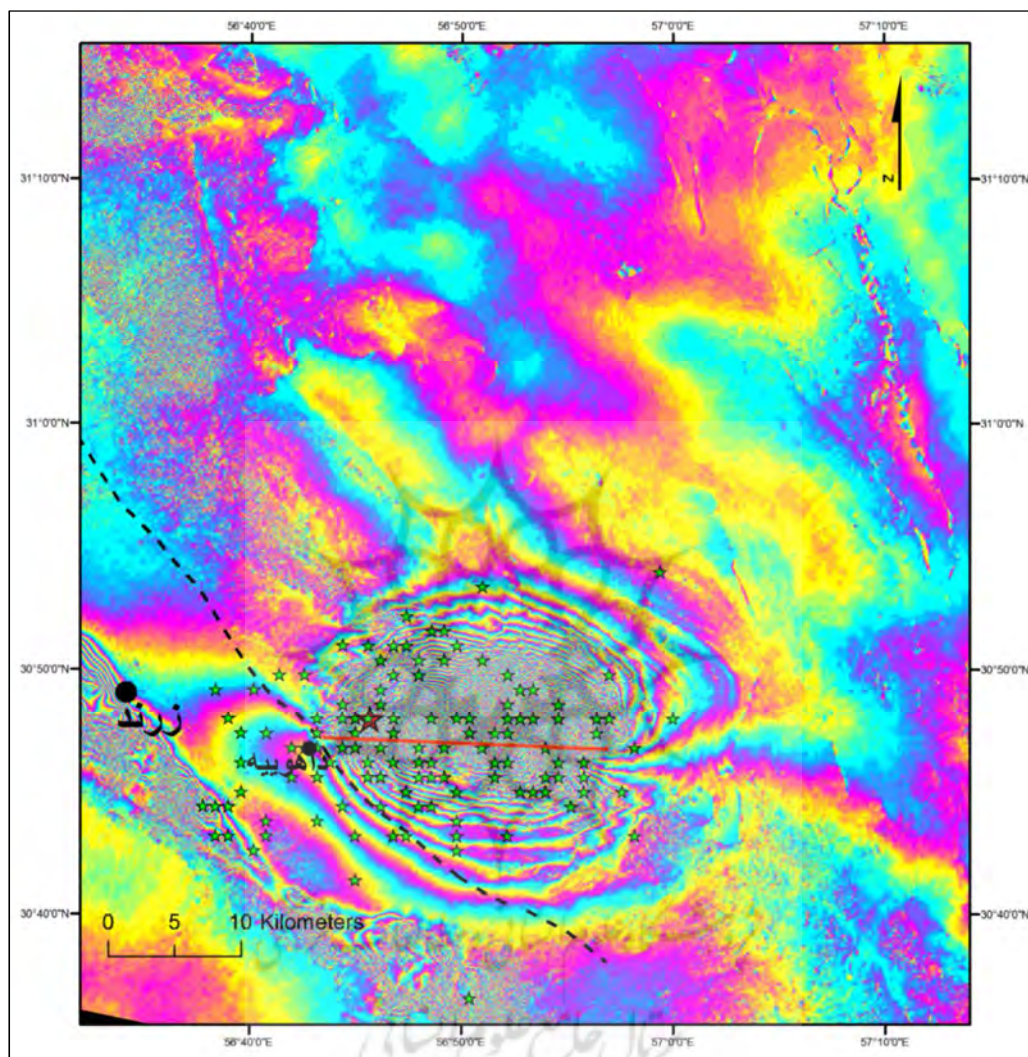
شناسایی و ترسیم گسله عامل زلزله

با توجه به تصویر تداخل نگاشت مشاهده شده در شکل (۳)، دو سری فرینج در قسمت بالا و پایین مرکز سطحی زلزله تشکیل شده‌اند، فصل مابین این دو لوپ، تداخل نگاشت دچار عدم هم‌دوسی^۱ شده است. و معمولاً مناطقی دچار این ناهمگونی شدید می‌شوند که نرخ جابجایی و تغییر در آن مناطق بسیار بالاتر از توان تشخیص تکنیک تداخل سنجی باشد (استراموندو و همکاران^۲، ۲۰۰۵، ۱۹۸). پس می‌توان این روند ناهمگون بین دو گروه فرینج رنگی را که یک روندی شرقی-غربی بوده، به عنوان اثر سطحی گسلی پنداشت. که این ایده در شکل (۶) نیز قابل تایید و استناد است، بطوریکه بخش بالایی این خط گسلی تشخیص داده شده، دچار بال‌آمدگی و بخش جنوبی آن دچار فرو افتادگی شده است. بنابراین می‌توان گسله عامل زلزله ۱۳۸۳ داهوئیه را ترسیم نمود (شکل ۷). در شکل ۷ موقعیت پس لرزه‌های رخ داده بعد از یکسال پس از

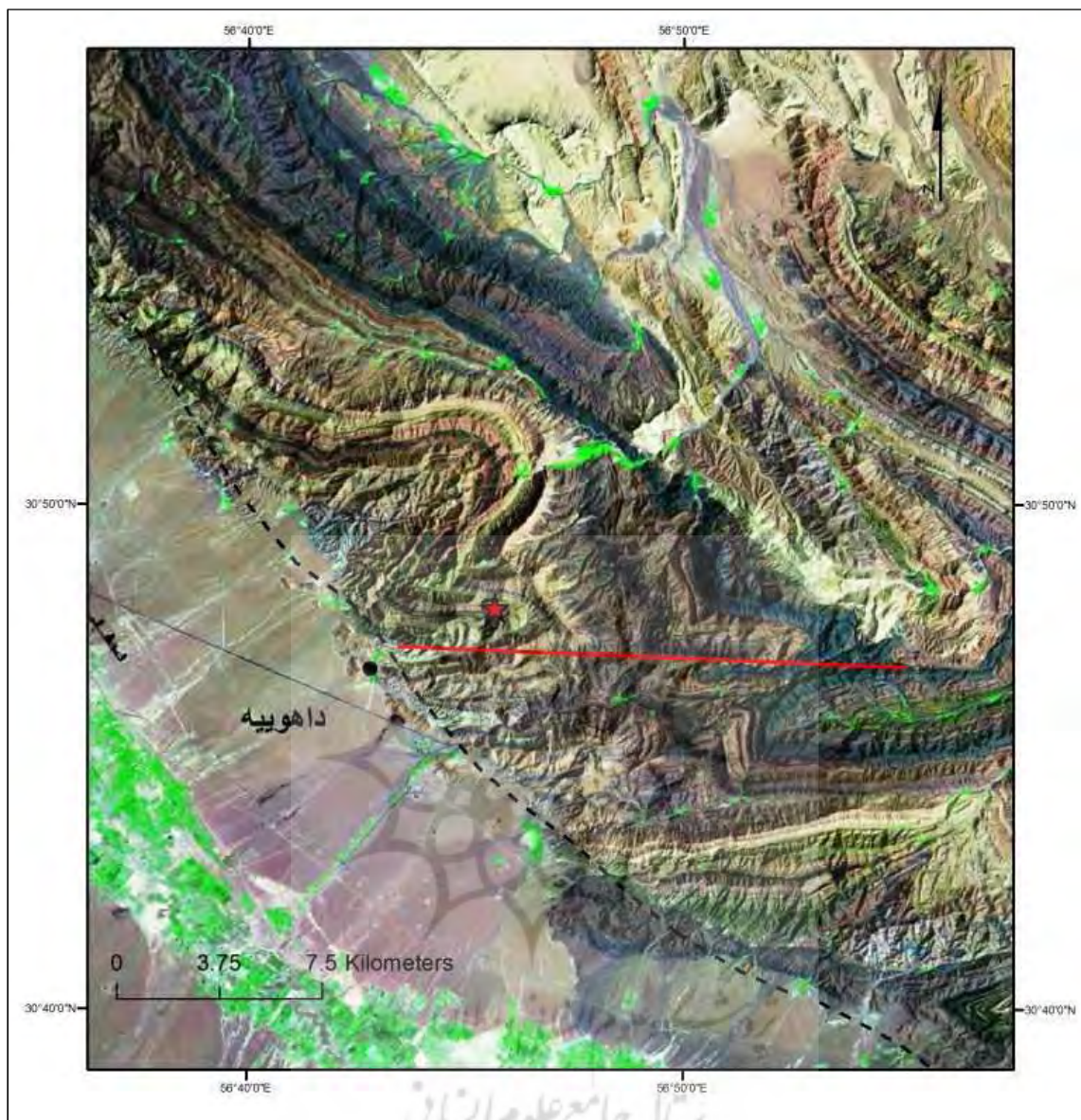
1. incoherency

2. Stramondo, et al

زلزله نیز بر روی منطقه لحاظ شد. همانطور که مشاهده می‌شود پراکنش پس لرزه‌ها نیز از روند گسلی مشخص شده، تبعیت می‌کند. اگر لایه‌های سنگی منطقه را نیز بررسی کنیم (شکل ۸) شواهدی از قطع شدگی و جابجایی در این لایه‌ها دقیقاً در راستای خط گسلی شناخته شده، مشاهده می‌شود.



شکل ۷: خط قرمز موقعیت گسله عامل زلزله ۱۳۸۳ داهوئیه را نشان می‌دهد. محل رومرکز پس لرزه‌ها با ستاره‌های سبز رنگ مشخص شده است.



شکل ۸: انطباق گسل تشخیصی با جابجایی لایه‌های زمین‌شناسی منطقه

نتیجه‌گیری

به طور کلی شناخت صحیح و تشخیص علت وقوع پدیده‌ها و به خصوص پدیده‌هایی که قابلیت ایجاد مخاطره را برای جوامع انسانی دارند اهمیت بسیار زیاد و انکار ناپذیری در تحلیل، کنترل و مدیریت آنها خواهد داشت. در همین رابطه استفاده از تکنیک‌های به روز، دقیق و کارآمد الزامیست. تداخل‌سنجی تکنیک استفاده از تداخل امواج الکترومغناطیس به منظور استخراج اطلاعات است. تداخل‌سنجی راداری با استفاده از اختلاف فاز زوج تصویر راداری با حد تفکیک مکانی بالا به دنبال تولید مدل رقومی ارتفاعی منطقه و برآورد میزان تغییر شکل و جابجایی پوسته زمین است. که از کاربردهای مهم این تکنیک برآورد جابجایی سطح زمین در اثر زمینلرزه و شناسایی کانون زلزله است. با توجه به سرعت وقوع مخاطراتی چون زمین لرزه امکان پیش بینی آنها وجود ندارد. در نتیجه استفاده از تصاویر راداری برای تهیه نقشه مناطق متأثر از وقوع زلزله و آگاهی لازم برای درک محیط و شناسایی گسل‌های مسبب لرزه، بسیار مناسب است. در این تحقیق تحلیل تداخل نگاشت تهیه شده از منطقه، مشخص می‌کند که یک جابجایی در حدود ۶۰ سانتیمتر به علت زلزله و در

راستای گسل اتفاق افتاده است. به طوریکه قطعه فرادیواره گسل دچار بالاآمدگی و قطعه فرودیواره دچار فرو افتادگی شده است. در نتیجه عامل زلزله سال ۱۳۸۳ زرد گسلی با راستای دقیقاً شرقی- غربی و به طول ۲۰ کیلومتر تشخیص داده شد. نام این گسل را می‌توان گسل داهوئیه نامید. این گسل را می‌توان یکی از گسل‌های فرعی گسل کوهبنان در نظر گرفت. نتایج حاصله از این تحقیق موید راندگی بودن گسل عامل و منطبق بر تحلیل برآمده از مکانیزم کانونی زلزله ثبت شده توسط دستگاه‌های لرزه نگار می‌باشد.

منابع

- رهنمون فر، حیدری، قیطانچی، مریم، رامک، محمد رضا، ۱۳۸۵، تعیین جابه جایی و بزرگی زلزله سال ۱۳۸۲ بم در جنوب شرقی ایران با استفاده از داده های ماهواره با روش تداخل سنجی راداری، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۲، شماره ۲، صص. ۱۱۷-۱۲۴.
- شکرزاده، سمانه، وثوقی، بهزاد، آمیخچی، معصومه، ۱۳۹۳، بررسی مکانیزم‌های شرکت کننده در جابجایی‌های بعد لرزه‌ای، زلزله ۱۳۸۲ بم ایران با استفاده از تصاویر راداری، مجله علمی- پژوهشی رادار، سال دوم، شماره ۲، صص. ۲۸-۲۱.
- ملکی، مختارزاده، آبکار، ولدان زوج، غفوری، رضا، مهدی، علی اکبر، محمد جواد، علی، ۱۳۹۳، تهیه نقشه زمین شناسی شکستگی ها و خطواره ها با استفاده از پردازش تصاویر رادار روزنه ترکیبی (SAR) مطالعه موردی: تصویر منطقه کلات نادری، مجله علمی- پژوهشی رادار، سال ۲، شماره ۱، صص. ۱۹-۲۸.
- مهرابی، داستانبور، رادفر، وزیر، درخشانی، علی، محمد، شهباز، محمد رضا، رضا، ۱۳۹۴، شناسایی خطواره‌های گسلی کمر بند چین خورده- تراستی زاگرس بر اساس تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و تعیین ارتباط آنها با موقعیت گنبد‌های نمکی رخنمون یافته سری هرمز با استفاده از تحلیل‌های GIS، مجله علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۶، صص. ۱۳-۳۱.
- Amarjargal, S., Kato, T., Furuya, M., 2013. Surface deformations from moderate-sized earthquakes in Mongolia observed by InSAR. *Earth, Planets and Space* 65 (7), pp.713-723.
- Ambraseys, M. and Melville, C. P., 1982. *A History of Persian Earthquakes [M]*. Londsn: Cambridge University Press, 219.
- Burgmann, R. Rosen, p. and Fielding, E., 2000. Synthetic Aperture Radar interferometry to measure Earth's surface topography and its deformation, *Annu. Rev. Earth. Planet. Sci.*, 28, pp. 169- 209.
- Cigna, F. Osmanoglu, B. Cano, E. Dixon, T. Olivera, J. Garduño-Monroy, V. and DeMets, C., 2012. Monitoring land subsidence and its induced geological hazard with Synthetic Aperture Radar Interferometry: A case study in Morelia, Mexico. *Remote Sensing of Environment*, 25(3), pp. 146-161.
- Gabriel, A. K., Goldstein, R. M., and Zebker, H. A., 1989. Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry, *J. Geophys. Res.*, 94(B7), pp. 9183-9191.
- Livio, F., Serva, L., Gürpınar, A., 2017. Locating distributed faulting: Contributions from InSAR imaging to Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis (PFDHA). *Quaternary International* 451, pp. 223e233.
- Nakamura, T., Suzuki, S., Matsushima, T., Ito, Y., Hosseini, S.K., Gandomi, A.J., Sadeghi, H., Maleki, M., Aghda, S.M.F., 2004. Source fault structure of the 2003 Bam earthquake, southeastern Iran, inferred from the aftershock distribution and its relation to the heavily damaged area: existence of the Arg-e-Bam fault proposed. Website: <http://www.gaea.kyushu-u.ac.jp/research/iran2004/paper/GRL2004.html>.
- Nemati, M. and Gheitanchi, M. R., 2011. Analysis of 2005 Dahuieh (Zarand) aftershock sequences in Kerman province, southeast Iran. *Journal of the Earth & Space Physics*. 37(1), Pp. 1-9.

- Qu, C., Zuo, R., Shan, X., Hu, J-c., Zhang, G., 2017. Coseismic deformation of the 2016 Taiwan Mw6.3 earthquake using InSAR data and source slip inversion, *Journal of Asian Earth Sciences* doi: [http:// dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.08.027](http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.08.027).
- Simons, M., Fialko, Y., Rivera L., 2002. Coseismic deformation from the 1999 Mw 7.1 Hector Mine, California earthquake as inferred from InSAR and GPS observations, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 92, pp. 1390– 1402.
- Stramondo, S.M. Moro, Tolomei, C., Cinti, F.R., Doumaz, F., 2005. InSAR surface displacement field and fault modeling for the Bam earthquake (southeastern Iran) *Journal of Geodynamics*, 40 (23), pp.347–353.
- Taymaz, T., Wright, T.J., Yolsal, S., Tan, O., Fielding, E., Seyitoglu, G., 2007. Source characteristics of the 6 June 2000 OrtaeÇankırı (central Turkey) earthquake: a synthesis of seismological, geological and geodetic (InSAR) observations, and internal deformation of the Anatolian plate. *Geological Society, London, Special Publications* 291 (1), pp. 259e290.
- Wright, T.J., Parsons, B.E., Jackson, J.A., Haynes, M., Fielding, E.J., England, P.C. & Clarke, P.J., 1999. Source parameters of the 1 October 1995 Dinar (Turkey) earthquake from SAR interferometry and seismic body wave modeling, *Earth planet. Sci. Lett.*, 172, 23–37.
- Wright, T. J., Z. Lu, and Wicks, C., 2004. Constraining the slip distribution and fault geometry of the Mw 7.9, 3 November 3 2002, Denali Fault earthquake with InSAR and GPS, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94(6B), PP. S175– S189.
- Yassaghi, A., 2006. Integration of landsat imagery interpretation and geomagnetic data on verification of deep-seated transverse fault lineaments in SE Zagros, Iran, *Int. J. of Remote Sensing*, 56(12), PP.152-167.
- Ye, X. (2005). Bam earthquake: Surface deformation measurement using radar interferometry, *ACTA SEISMOLOGICA SINICA*. 18(24), PP. 451-459.