نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه برداری
سال هفتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۸
Vol.7, No.4, Winter 2020
۱۵۷ -۱۷۳
مقاله پژوهشی

تخمین وسعت تخریب ناشی از زلزله با استفاده از تداخل سنجی راداری وتصاویر نوری (مطالعه موردی: زلزله ۱۳۸۲ بم)

حمید مهرابی*[۱]، سعید زعفرانیه[۲]

۱- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران و حمل و نقل ، دانشگاه اصفهان
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی، گروه مهندسی نقشه‌برداری ، دانشکده عمران و حمل و نقل ، دانشگاه اصفهان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۵   تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۱۱

چکیده

تخمین میزان تخریب ناشی از زلزله و دیگر بلایای طبیعی در روزهای اول پس از وقوع این حوادث می‌تواند امکان برآورد سریع میزان خسارات وارده را فراهم کرده و کمک شایانی به مدیریت بحران نماید. برای بررسی میزان تخریب ناشی از زلزله چندین روش از جمله استفاده از تصاویر اپتیک سنجش از دور، روش‌های مختلف فتوگرامتری (پهپاد و لیدار)، تداخل‌سنجی راداری (*InSAR*) و بازدیدهای میدانی وجود دارد. داده‌های راداری در تمام ساعات شبانه‌روز و در تمام شرایط آب و هوایی، غالباً به‌صورت رایگان و ارزان در اختیار کاربران قرار می‌گیرد. امروزه فناوری تداخل‌سنجی راداری با قابلیت‌ها و محصولات متعدد در حیطه فاز و دامنه به ابزاری قدرتمند در پایش تغییر شکل و تغییرات پوسته زمین تبدیل شده است. یکی از محصولات تداخل‌سنجی راداری تصویر همدوسی (*Coherence image*) می‌باشد. عدم همدوسی در تصاویر راداری می‌تواند ناشی از عوامل متعدد از قبیل وجود پوشش گیاهی، تغییرات ضریب دی‌الکتریک در تصاویر اصلی (*Master image*) و فرعی (*Slave image*)، شیب زیاد مناطق، فرسایش خاک ، تخریب عوارض و تغییر وضعیت زمین (مثلاً ساخت و ساز) باشد. در این مقاله سعی شده است محدوده عدم همدوسی ناشی از تخریب با تمرکز بر تکنیک تداخل‌سنجی راداری تفاضلی (*D-InSAR*) و حذف سلول‌هایی که به دلیل پوشش گیاهی، تغییرات ضریب دی‌الکتریک و مناطق پر شیب کوهستانی همدوسی خود را از دست داده‌اند، برآورد شود. در این راستا، زوج تصاویر ماهواره انویست (*Envisat*) قبل و بعد از زلزله ۱۳۸۲ بم به عنوان تصاویر منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. همدوسی سلول‌های با مقدار متوسط ۰٫۲ در محدوده ارگ بم با میزان تخریب بالای آن موید قابلیت استفاده از این معیار در میزان تخریب می‌باشد. نتایج بررسی زلزله بم نشان می‌دهد که ۲۳٫۵٪ از مساحت ۱۴۲۹۰ هکتاری منطقه مطالعاتی دچار تخریب کامل (فرو ریزش) و ۳۱٪ دچار تخریب بالا شده است.

کلید واژه‌ها : تداخل سنجی راداری (*InSAR*)، همدوسی، میزان تخریب، *D-InSAR*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]

* نویسنده مکاتبه کننده: اصفهان، خیابان هزار جریب، دانشگاه اصفهان، دانشکده عمران و حمل و نقل، گروه مهندسی نقشه‌برداری.
تلفن: ۰۳۱۳۷۹۳۵۲۹۷
Email: h.mehrabi@eng.ui.ac.ir

۱- مقدمه

کشف تغییرات[1] فرآیندی برای تشخیص تغییرات ایجاد شده در وضعیت یک جسم یا پدیده با انجام مشاهدات در زمان‌های مختلف است. بررسی و پایش سازه‌ها از لحاظ میزان جابجایی، تغییر شکل یا میزان تخریب در یک بازه زمانی مشخص و در سطوح مختلف از یک سازه تا یک شهر، در علوم مهندسی دارای اهمیت ویژه ای است[۱ و۲]. مطالعه میزان تخریب می‌تواند از پایش یک سازه و ساختمان تا محدوده یک شهر بزرگ مطرح باشد؛ بدین منظور و متناسب با نیاز و نوع مطالعه مدنظر، روش‌ها و داده‌های متنوعی می‌توانند به کار گرفته شود. تغییرات ناشی از تخریب را می‌توان با استفاده از تصاویر نوری (با سکوی پهپاد، هواپیما یا ماهواره)، داده‌های لیدار، تصاویر راداری و ادغام داده‌های مذکور شناسایی نمود. علاوه بر روش‌های فوق، بازدید مستقیم زمینی یکی دیگر از روش‌های مرسوم کشف تغییرات می‌باشد.

در این مطالعه به روش‌های مرسوم استفاده از تصاویر نوری سنجش از دور، روش‌های فتوگرامتری (ابر نقطه لیدار و پهپاد) و بازدیدهای میدانی اشاره خواهد شد و روش استفاده از تصاویر راداری و تداخل سنجی رادار با دهانه ترکیبی[2] *(InSAR)* مورد بررسی دقیق‌تر قرار خواهد گرفت.

یکی از جنبه‌های اساسی در کشف تغییرات با استفاده از داده‌های سنجش از دور، انتخاب نوع داده است که فاطمی (۲۰۱۹) آن را به عنوان یکی از هشت پرسش اصلی در کشف تغییرات به کمک سنجش از دور مطرح نموده‌است [۳]. یکی از روش‌های مطرح در کشف تغییرات، استفاده از تصاویر نوری ماهواره‌های سنجش از دور می‌باشد و یکی از مصادیق ایجاد تغییر در شکل پوسته، تخریب ناشی از زلزله می‌باشد. براساس نوع تصویر مورد استفاده در کشف تخریب ناشی از زلزله، قدرت تفکیک مکانی این تصاویر می‌تواند از دسی‌متر (سی سانتیمتر برای وردویو[3]) تا چند ده متر (برای مثال سنتینل[4] و لندست[5]) باشد؛ که تصویر ماهواره‌ای مورد نظر متناسب با دقت دلخواه برای تشخیص تخریب ساختمان‌ها، انتخاب می‌شود. سال ۲۰۱۲ تانگ و همکاران با استفاده از جفت تصاویر استریو با قدرت تفکیک بالای سنجنده آیکُنوس[6] قبل و بعد از وقوع زلزله سال ۲۰۰۸ شهر ونچوان چین، به دو روش جهت تهیه نقشه تخریب اقدام کرده است [۴]. در روش اول، ساختمان‌های تخریب شده توسط اختلاف ارتفاع گوشه‌های ساختمان در جفت تصویر استریو قبل و بعد از زلزله، شناسایی شدند. در روش دوم، محدوده تخریب ساختمان‌ها از تفاوت مدل‌های رقومی ارتفاعی بدست آمده از زوج تصاویر قبل و بعد از زلزله به دست آمده است. در مطالعه‌ای دیگر ، صمدزادگان و همکاران با استفاده از نقشه قبل از زلزله و استخراج عوارض طیفی و بافتی از تصاویر ماهواره‌ای بعد از زلزله به تعیین ساختمان‌های تخریب شده در شهر بم پرداخته است [۵]. مارویاما و همکاران (۲۰۱۱) مدل رقومی سطح *(DSM)* را با استفاده از عکس‌های هوایی رقومی قبل و بعد از زلزله ۲۰۰۷ شهر نیگاتا-چیوتسو تهیه نمودند و از بررسی تغییرات ایجاد شده، نسبت به تشخیص ساختمان‌های تخریب شده اقدام نمودند [۶]. در کاربردی دیگر با به کار بردن تصاویر ماهواره‌ای کوئیک‌بِرد[7] قبل و بعد از زلزله شهر بم، با استفاده از سیستم استنتاج فازی و بر مبنای اطلاعات ساختاری و آنالیز شکل، ساختمان‌های تخریب شده تشخیص داده شدند [۷]. هودانگ در منطقه ونچوان با استفاده از تصاویر

[1] *Change detection*
[2] *Interferometric synthetic aperture radar*
[3] *Worldview*
[4] *Sentinel*
[5] *Landsat*
[6] *IKONOS*
[7] *QuickBird*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]

ADS40 و سیستم راداری با دهانه مجازی[1](*SAR*) به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداخته است [۸]. تارکر و همکاران (۲۰۰۵) نیز با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی[2] (*DEM*) منطقه ازمیت ترکیه که از عکس‌های هوایی استریو قبل و بعد از زلزله به دست آمده بود؛ به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداخت[۹].

روش دیگر در مطالعات سطح تخریب ناشی از زلزله استفاده از داده‌های فتوگرامتری لیدار می‌باشد. قدرت تفکیک در این روش تابعی از تراکم ابر نقاط در واحد سطح است که با توجه به ویژگی‌ها و تنظیمات سنجنده و ارتفاع پرواز، در حد دسی متر و بهتر نیز می‌تواند باشد [۱۰]. بنابراین در صورت وجود ابر نقاط قبل و بعد از زلزله، روش اخیر قدرت تشخیص تخریب در سطوح بسیار کوچک را نیز دارا خواهد بود. در مطالعه‌ای، راستی ویس و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از نقشه قبل و بعد از زلزله و داده‌های لیدار بعد از زلزله به تعیین ساختمان‌های تخریب شده زلزله سال ۲۰۱۰ هایتی پرداخت. در این روش از طبقه‌بندی داده‌های لیدار به روش ماشین بردار پشتیبان[3] برای شناسایی ساختمان های تخریب شده استفاده شد[۱۱]. در مطالعه‌ای دیگر در منطقه‌ای از سوئیس با استفاده از مدل ساختمانی شامل سطوح صفحه‌ای قبل از وقوع زلزله و سطوح صفحه‌ای که از لیزر اسکنرها بعد از وقوع حادثه استخراج شده اند؛ به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداخته شد. در این مقاله برای تعیین سطوح هم صفحه‌ای از حجم و تغییرات ارتفاعی و تنزل آن و تغییرات سطوح ساختمان استفاده شده است[۱۲].

لی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های لیدار به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداخته‌اند [۱۳]. در این مقاله مدل سه بعدی حاصل از داده‌های لیدار و تصاویر ماهواره‌ای قبل و بعد از زلزله مورد استفاده قرار گرفته و با مقایسه آن‌ها، ساختمان‌های تخریب شده، تعیین شده است. همچنین در این مقاله برای برآورد میزان تخریب، از نسبت مساحت قسمت تخریب شده به نسبت مساحت کل سقف، استفاده شده است. تریندر و همکاران (۲۰۱۲) نیز با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و *DEM* حاصل از آن با تصاویر هوایی اخذ شده در دو بازه زمانی در منطقه‌ای در استرالیا ، اقدام به تشخیص تغییرات ارتفاعی ناشی از تخریب نموده‌اند[۱۴]. تیان و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای و *DSM* منطقه‌ای در هائیتی به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداخته است. این مقاله شامل بررسی ساختمان‌های تخریب شده، بازسازی شده و پناهگاه های موقتی می‌باشد[۱۵]. ،

استفاده از تصاویر تهیه شده توسط پهپادهای فتوگرامتری از دیگر روش‌های برآورد خسارت می‌باشد. شی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از تصاویر پهپاد از منطقه کوچک به ابعاد تقریبی ۷۵۰×۸۵۰ مترمربع در گوانگجو چین در دو مرحله زمانی، پس از انجام تصحیحاتی بر روی این تصاویر، میزان تغییرات این محدوده را بررسی کردند [۱۶].

یکی دیگر از روش‌های برآورد خسارت بازدید میدانی می‌باشد. این روش مبتنی بر تشکیل اکیپ‌های بازدید زمینی و تکمیل فرم‌های بازدید می‌باشد. دقت این روش در برآورد میزان خسارت ابنیه و ساختمان‌ها می‌تواند زیاد باشد؛ البته ورود خطاها و اشتباهات انسانی در طی مراحل بازدید و تکمیل فرم‌ها می‌تواند نتایج حاصل را با خطای فاحش روبرو سازد. اجرای این روش بسیار پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد، ضمن اینکه نتایج به صورت کیفی ارائه می‌شود؛ و محاسبه سطح تخریب به‌صورت کمّی، نیازمند اندازه‌گیری‌های میدانی یا جمع‌آوری حجم زیادی از داده‌ها می‌باشد. سازمان نقشه‌برداری کشور بلافاصله بعد از زلزله ۱۳۸۲ بم، اقدام به تهیه نقشه طبقه‌بندی شده از میزان تخریب

---
[1] *Synthetic aperture radar*
[2] *Digital elevation model*
[3] *Support Vector Machine*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]

ساختمان‌های شهر و روستاهای اطراف آن نمود. این نقشه بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از بازدیدهای میدانی تهیه شده است. توضیحات بیشتر در مورد نقشه مورد نظر در بخش داده‌ها آورده شده است.

توجه کارشناسان و مدیران در مدیریت بحران به استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دلایلی از جمله جمع‌آوری داده در بازه‌های زمانی مشخص و منظم بدون نیاز به دسترسی به منطقه مطالعاتی حتی برای نقاط دور از دسترس، پوشش نسبتاً بزرگ مناطق در یک تصویر و ارزان یا رایگان بودن تصاویر معطوف شده است. در این میان تصاویر نوری با توجه به داشتن قدرت تفکیک بالا، بیشتر مورد توجه کاربران هست ولی این تصاویر تحت تاثیر عوامل محدودکننده‌ای مثل شرایط اتمسفر، پوشش ابر، دود ناشی از آتش و عدم وجود نور کافی هستند [۱۷]. ظرفیت‌های تصاویر راداری در غلبه بر نواقص ذکر شده، تکنیک SAR را بعد از زلزله لندرز ۱۹۹۲ به عنوان یک جایگزین مناسب معرفی می‌نماید [۱۸ و ۱۹].

از اوایل دهه ۱۹۹۰، *InSAR* به‌عنوان ابزاری کارآمد در مطالعه کلیه پدیده‌هایی که سبب تغییر سطح زمین می‌شوند، مطرح و مورد استفاده قرار گرفت. اولین کاربردهای *InSAR* برای مطالعات توپوگرافی سطح زمین و تغییرات آن توسط زبکر و گلدستین (۱۹۸۶) و گابریل و همکاران (۱۹۸۹) انجام پذیرفت [۲۰ و ۲۱]. از آن زمان به بعد *D-InSAR*[1] و آنالیز سری‌های زمانی *InSAR* به عنوان یک روش ژئودتیکی ماهواره‌ای مطرح در اندازه‌گیری تغییرشکل‌های زمین مورد استفاده قرار گرفته است. بررسی عواملی مثل فعالیت‌های آتشفشانی [۲۲-۲۴]، حرکات بین‌لرزه‌ای [۲۵]، حرکات هم‌لرزه [۲۶]، حرکات پس‌لرزه [۲۷ و ۲۸]، تغییرشکل‌های ناشی از استخراج معادن و آب‌های زیرزمینی [۲۹ و ۳۰]، گسل‌های لغزشی [۳۱ و ۳۲] و استخراج پارامترهای ناوردای تغییرشکل[۳۳] نمونه‌هایی از پژوهش‌های صورت پذیرفته در این عرصه می‌باشد. *InSAR* در کنار ویژگی‌هایی که اشاره شد، قابلیت استخراج اطلاعات ارتفاعی تارگت‌های زمینی را نیز دارا می‌باشد. در واقع این تکنیک قابلیت تولید مدل ارتفاعی زمین (*DEM*) را با دو عبور متوالی سنجنده دارد. این قابلیت، خود می‌تواند یکی از ابزارهای تشخیص تخریب ناشی از زلزله باشد [۳۴].

یکی از محصولات تداخل‌سنجی راداری، تصویر همدوسی است که میزان همبستگی فاز میان سلول‌های مشابه را در دو تصویر اصلی و پیرو نشان می‌دهد. میزان همدوسی سلول‌ها، عددی بین صفر و یک است. اگر دو سلول نسبت به هم تغییرات کمی داشته باشند، این عدد به یک نزدیک می‌شود و هرچه تغییرات دو سلول نسبت به هم بیشتر باشد این عدد به سمت صفر میل می‌کند. تصویر همدوسی یک تصویر سیاه و سفید با درجات خاکستری است که سلول هایی که مقدار آن نزدیک به یک است روشن‌تر و سلول هایی که به صفر نزدیک می‌شوند تیره‌تر می‌شوند.

روش مورد نظر این مقاله برای برآورد میزان خسارت ناشی از تخریب زلزله، تداخل‌سنجی راداری می‌باشد. با وجود اینکه در منابع مختلف درباره پتانسیل بالای تصاویر *SAR* در کشف تغییرات و تخمین خسارت ناشی از زلزله صحبت به میان آمده، ولی در این زمینه مطالعات و بررسی‌های عملی کمی صورت گرفته است. پتانسیل تصاویر *SAR* برای کشف تغییرات در مناطق شهری بسیار بالاتر از مناطق غیرشهری است زیرا پرتو بازتابیده در مناطق شهری از شدت و کیفیت بالاتری برخوردار است [۱۸] و پیکسل‌های شامل پراکنش‌گرهای دائمی[2] (*PS*) [۳۵] در آنها، به مراتب بیشتر از مناطق غیر شهری است. اوسای و کلیز (۱۹۹۹) نشان دادند که در مناطق شهری و به‌ویژه روی ساخته‌های دست بشر، همدوسی و پایداری سیگنال بسیار بالاست.

[1] *Differential InSAR*

[2] *Permanent/Persistent scatters*

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157] [Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]

آنها نشان دادند که روی ساختمان‌ها، بعضا همدوسی با وابستگی بسیار بالایی، حتی در یک دوره چند ساله، حفظ می‌شود [۳۶]. ویدال نشان داد که در مناطق شهری (در شرایط مختلف آب و هوایی و حتی در تغییر فصل و با وجود تغییرات ثابت دی‌الکتریک[1]) ثبات همدوسی هنوز وجود دارد [۳۷]. قدرت تشخیص تخریب در این روش تابعی از قدرت تفکیک تصاویر مورد استفاده و ضریب چندمنظری[2] می‌باشد. در مورد تصاویر انویست با در نظر گرفتن ضریب یک در راستای برد و ضریب پنج در راستای آزیموت، ابعاد پیکسل زمینی به طور متوسط ۲۰×۲۰ متر خواهد شد[۱۸] . در این وضعیت انتظار تشخیص تخریب تک به تک ساختمان‌ها غیر واقعی به نظر می‌رسد. بنابراین مبنای تشخیص تخریب، تعداد پیکسل خواهد شد و شمارش پیکسل ها جایگزین شمارش ساختمان‌ها می‌شود. همان‌طور که اشاره شد، برای برآورد میزان تغییرات سطح زمین با استفاده از تصاویر *SAR* مطالعات بسیاری انجام شده است؛ به‌صورتی که امروزه استفاده از *InSAR* در آنالیز تغییر شکل به یک روال مرسوم تبدیل شده است. در اکثر پژوهش‌های انجام شده با این فناوری، میزان تغییرات و جابجایی‌های پوسته زمین مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته است و مطالعات کمی در راستای ارزیابی سطح تخریب انجام شده است. ماتسوکا و یامازاکی (۲۰۰۰) نشان دادند که اختلاف شدت[3] در تصاویر دامنه[4] فقط می‌تواند تغییرات بزرگ سطح زمین را نشان دهد در حالی که درجه همدوسی به تغییرات کوچک در سطح زمین نیز حساس است. آنها درصد تخریب ناشی از زلزله را به پنج درجه *A* (۰تا ۶ درصد تخریب) تا E (۵۰ تا ۱۰۰ درصد تخریب) تقسیم‌بندی نمودند و سعی کردند با ایجاد روالی برای ترکیب تغییرات شدت و همدوسی، درصد تخریب ناشی از زلزله ۱۹۹۹ ترکیه را طبقه‌بندی نمایند [۳۸]. سوگا و همکاران (۲۰۰۱) و یونزاوا و تاکوشی (۲۰۰۱) از ایده عدم هبستگی زوج تصاویر *SAR* و اطلاعات همدوسی آنها برای تشخیص خسارت و تخریب ناشی از زلزله استفاده کرده و پیشنهاد دادند که از تفاضلات نرمال شده همدوسی و پارامتر شدت برای تشخیص تغییرات استفاده شود[۳۹ و۴۰]. ایده ترکیب تصاویر ماهواره‌ای *SAR* و اپتیکی با محاسبه همدوسی، تغییرات شدت و ضریب شدت-وابستگی را با استفاده از زوج تصاویر *SAR* و غنی‌سازی آن با تصاویر نوری را بیگنامی و همکاران (۲۰۰۴) مطرح و آن را توسعه دادند[۴۱]. فیلدینگ و همکاران (۲۰۰۵) و منصوری و همکاران (۲۰۰۵) نیز تصویر همدوسی زلزله بم را تولید و ارتباط میزان همدوسی و میزان شکست و جابجایی گسل مسبب زلزله و تاثیر آن بر میزان تخریب را بررسی نمودند [۴۲ و ۴۳]. آرسینگاس (۲۰۰۶) از تفاضلات همدوسی قبل از زلزله و در حین زلزله ۱۳۸۲ بم، بهره-برداری نمود و با بررسی تغییرات ایجاد شده در مقدار همدوسی، دسته بندی ایجاد شده توسط سازمان نقشه-برداری را مورد استفاده قرار داد و میزان تخریب بالا و کامل را ۷۴٪ تعیین نمود [۱۸]. ووانگ (۲۰۱۰) از ایده امکان استفاده از آنالیز همدوسی در برآورد میزان تخریب بهره برداری نمود و آن را در زلزله بودانگ چین مورد استفاده قرار داد [۴۴]. که البته در این پژوهش فقط به بررسی تأثیر عوامل زمانی و مکانی برای از دست رفتن همدوسی اکتفا نموده و آنالیز کمّی برای بررسی میزان تخریب انجام نداده است. مشابه با دو منبع ذکر شده، جانگ (۲۰۱۷) نیز در مقاله خود با استفاده از آنالیز همدوسی تصاویر پلاریزه داده‌های *UAVSAR* نقشه تخریب را برای منطقه‌ای از کالیفرنیا آمریکا استخراج کرده است [۴۵]، بدون اینکه بررسی کمّی روی نتایج تخریب حاصل از عدم همدوسی انجام شود.

در ادامه این مقاله برای بررسی میزان تخریب ناشی از زلزله، از آنالیز تصویر همدوسی (که یکی از محصولات

[1] *Dielectric constant*
[2] *Multilooking factor*
[3] *Intensity difference*
[4] *Amplitude image*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]

تکنیک *D-InSAR* است) استفاده خواهد شد. در این راستا، تصاویر ماهواره انویسَت[1] در زلزله ۵ دی ماه ۱۳۸۲ بم به عنوان مطالعه موردی استفاده شد.

تصاویر همدوسی (در دو مدار بالاگذر و پایین‌گذر) تشکیل خواهند شد و مناطقی که همدوسی خود را از دست داده‌اند، شناسایی می‌شوند و سپس مساحت تخریب بر اساس تعداد و اندازه سلول‌ها[2] مورد محاسبه قرار خواهد گرفت. در مطالعه زلزله شهر بم، تصویر بالاگذر، پوشش کاملی بر شهر نداشت و در نتیجه از آنالیزها حذف گردید.

۲- آنالیز همدوسی تصاویر در *InSAR*

برای برآورد میزان تخریب ناشی از بلایای طبیعی مانند زلزله چندین روش ذکر گردید. در این مقاله سعی شده است با استفاده از فن‌آوری تداخل‌سنجی راداری بر پایه آنالیز همدوسی بین زوج تصویر قبل و بعد از زلزله میزان تخریب ناشی از زلزله برآورد شود. همدوسی میزان تغییرات بین دو سلول متناظر در دو تصویر اصلی و فرعی است و بیانگر میزان همبستگی بین آنها می‌باشد. همبستگی بین دو متغیر y_1 و y_2 طبق رابطه(۱) تعریف می‌شود [۴۶].

$$\gamma = \frac{E\{y_1.y_2^*\}}{\sqrt{E\{|y_1^2|\}.E\{|y_2^2|\}}} \qquad \text{رابطه(۱)}$$

در رابطه (۱)، γ همدوسی بین دو تصویر، y_1 تصویر اصلی و y_2^* مزدوج مختلط تصویر فرعی است. مطابق رابطه (۱) از ضرب مختلط بین این دو تصویر و اعمال عملگر امید ریاضی $E\{.\}$ بر روی آن، همدوسی بین دو تصویر حاصل می‌شود [۴۶]. همدوسی معمولا با پنجره برآورد[3] تخمین زده می‌شود. این پنجره مطابق رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$\hat{\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^{p} y_{1i} y_{2i}^* . e^{j\varphi(i)}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{p}|y_{1i}|^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{p}|y_{2i}|^2}} \qquad \text{رابطه(۲)}$$

در رابطه (۲)، i بیانگر شماره سلول در پنجره برآورد همدوسی و p تعداد سلول های درون این پنجره را نمایش می‌دهد. در این رابطه $\varphi(i)$ فاز همبستگی مختلط است که مقدار آن برابر با فاز تداخل‌نما[4] می‌باشد [۴۶]. میزان همدوسی بین دو تصویر به طول موج سنجنده، وضعیت توپوگرافی منطقه، خواص فیزیکی و ضریب دی الکتریک سطح زمین، نوع و میزان پوشش گیاهی، تغییر وضعیت زمین ناشی از ساخت و ساز و یا تخریب ساختمان‌ها، فرسایش و اندازه جابجایی‌های سطح زمین بستگی دارد [۴۶ و ۴۷]. با حذف تأثیر عوامل دیگر می‌توان سطح تغییرات ناشی از تخریب را در منطقه مطالعاتی مشخص نمود [۱۸].

در ادامه مقاله، زلزله بم به عنوان منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار خواهد گرفت و با برآورد مقادیر همدوسی میزان تخریب ناشی از زلزله تعیین می‌گردد.

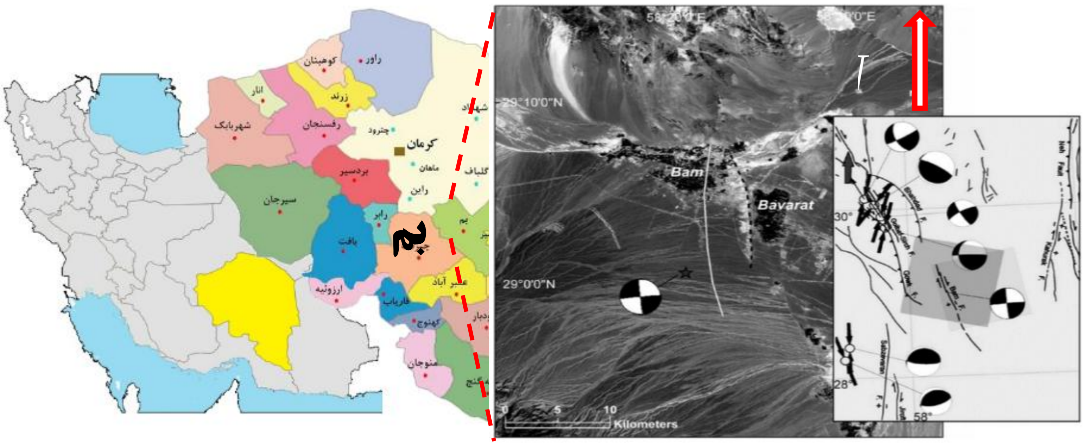
۳- منطقه مطالعاتی، داده ها و نتایج

شهر بم در استان کرمان در جنوب شرقی ایران و در ۱۹۰ کیلومتری شهر کرمان واقع شده است (شکل (۱)). زلزله بم در تاریخ پنجم دی ماه ۱۳۸۲ (۲۶ دسامبر ۲۰۰۳) در ساعت ۰۵:۲۶:۵ به وقت محلی و با بزرگی ۶/۶ ریشتر به وقوع پیوست [۴۸] و علاوه بر خسارات مالی فراوان، موجب از دست رفتن جان بیش از ۲۵۰۰۰ نفر انسان بی‌گناه شد. با توجه به اهمیت استراتژیک این زلزله از نظر میزان بالای خسارت‌های جانی و مالی آن و تخریب ارگ باستانی بم و از طرف دیگر کیفیت مطلوب تصاویر پایین‌گذرماهواره انویسَت قبل و بعد از زلزله باعث شد تا این محل این زلزله به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شود. حرکت همگرای صفحه عربستان به سمت شمال، باعث ایجاد برخوردهای مایل از نوع گسل معکوس[5] و چین‌خوردگی و نیز برخورد موازی از نوع گسل امتداد لغز[6] در سراسر

[1] *Envisat*
[2] *Cells*
[3] *Coherence estimate window (CEW)*
[4] *Interferogram*
[5] *Reverse fault*
[4] *Strike-slip fault*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]

ایران شده است [۴۹]. گسل امتداد لغز بم با راستای شمال شرق-جنوب غرب و طول ۱۵۰ کیلومتر یکی از انواع این گسل‌ها است [۵۰]. زلزله ۱۳۸۲ شهر بم، پیامد فعال شدن یک گسل پوشیده می‌باشد که یکی از انشعابات فرعی گسل بم محسوب می‌شود. این موضوع با استفاده از فن تداخل‌سنجی راداری و تشکیل تداخل‌نما کاملاً قابل استناد و نتیجه‌گیری است[۵۱]. شکل(۱) موقعیت دو شهر بم و بروات را نشان می دهد.



شکل ۱: موقعیت بم و بروات در کرمان، موقعیت گسل بم و انشعابات آن و سازوکار کانونی زلزله ۱۳۸۲ بم [۵۱]

در شکل(۱) همچنین موقعیت گسل بم و انشعابات آن و سازوکار کانونی [1] زلزله بم نشان می‌دهد.

بر اساس گزارش‌های میدانی، حدود ۹۰٪ از ساختمان-های شهر بم و روستاهای اطراف آن، دچار تخریب ۶۰٪ تا ۱۰۰٪ و باقیمانده ساختمان ها نیز دچار خسارت ۴۰٪ تا ۶۰٪ شدند و ارگ تاریخی بم نیز دچار تخریب زیادی گردید[۵۲].

سازمان نقشه‌برداری کشور *(NCC 2003)* بلافاصله بعد از وقوع زلزله، بر اساس بازدیدها و گزارش‌های میدانی، اقدام به تهیه نقشه توزیع میزان خسارت ناشی از زلزله نمود. براساس این نقشه میزان خسارت در سه کلاس ۸۰٪ تا ۱۰۰٪ (تخریب کامل)، ۵۰٪ تا ۸۰٪ (تخریب بالا) و ۲۰٪ تا ۵۰٪ (تخریب کم) طبقه‌بندی شد. شکل(۲) توزیع این مناطق را نمایش می‌دهد. با توجه به عدم دسترسی نویسندگان به اصل نقشه در سایت سازمان نقشه‌برداری، خواننده محترم به مقالات حاوی این نقشه ارجاع می‌گردد [۱۸ و ۴۲]. همان‌طور که در نقشه نشان داده شده است، ارگ بم در محدوده تخریب بالای ۸۰٪ واقع شده است. این نقشه به عنوان داده واقعیت زمینی [2] برای صحت‌سنجی نتایج این مقاله مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

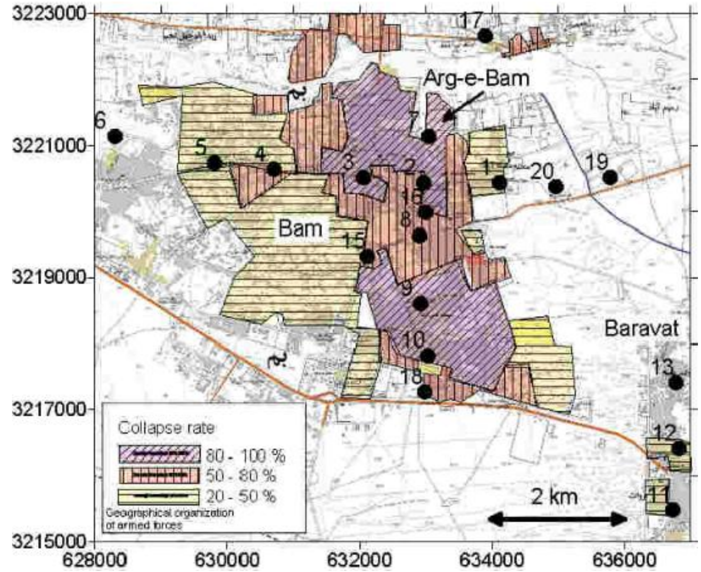
برای بررسی میزان تخریب شهر بم، محدوده کوچکی از تصویر تداخل‌نما مورد بررسی قرار گرفت که از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین طول جغرافیایی "۵۸°۱۷´۴۰ تا "۵۸°۲۴´۰۲ شرقی و عرض جغرافیایی "۲۹°۰۳´۳۰ تا "۲۹°۰۹´۰۴ شمالی واقع شده است. داده‌های مورد استفاده در این مقاله، تصاویر راداری ماهواره انویسَت در قبل و بعد از زلزله می‌باشد. در اجرای این تحقیق تصاویر پایین‌گذر و بالاگذر مطابق با جدول (۱) مورد استفاده قرار گرفتند.

[1] *Focal mechanism (Beach-Ball)*

[2] *ground-truth information*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]



شکل ۲: نقشه طبقه‌بندی میزان خسارت ناشی از زلزله دی‌ماه ۱۳۸۲ بم [۱۸و ۴۲]

جدول *1* : تصاویر ماهواره انویسَت در دو مدار بالاگذر و پایین گذر

جهت مدار	تاریخ تصویربرداری	شماره مدار نسبی	شماره مدار مطلق
پایین گذر	*Jun. 11th 2003*	۱۲۰	۶۶۸۷
	Dec. 3th 2003	۱۲۰	۹۱۹۲
بالاگذر	*Nov. 16th 2003*	۳۸۵	۸۹۵۶
	Jan. 25th 2004	۳۸۵	۹۹۵۸

پردازش تصاویر با استفاده از نرم‌افزار *Envi-SARScape* انجام شد. با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی *SRTM*[1] با قدرت تفکیک ۹۰ متر تصحیحات زمین مسطح و توپوگرافی و با استفاده از مدار دقیق ماهواره، تصحیح مداری اعمال گردید. ضریب چند منظری، در راستای برد یک، و در جهت آزیموت پنج در نظر گرفته شد، بنابراین با توجه به قدر تفکیک تصاویر مورد استفاده که ۴×۲۰ متر می‌باشد، ابعاد پیکسل‌ها ۲۰×۲۰ متر خواهد شد. با توجه به بزرگ بودن نسبی ابعاد پیکسل‌ها، امکان تشخیص تخریب برای تک‌به‌تک ساختمان‌ها وجود نخواهد داشت و معیار تشخیص میزان تخریب، تعداد و مساحت هر پیکسل خواهد بود. بدیهی است برای تشخیص تخریب تک‌به‌تک ساختمان‌ها باید به داده‌ها و روش‌های با قدرت تفکیک بالاتر رجوع شود.

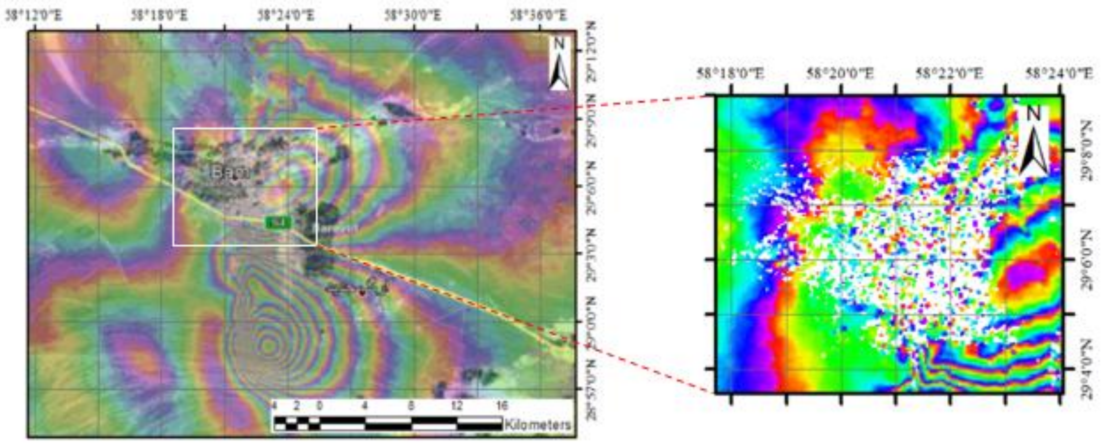
شکل‌های(۳) و (۴) و (۵) به ترتیب تداخل‌نما، تصاویر جابجایی در راستای دید ماهواره و تصویر همدوسی را در مدارهای پایین‌گذر و بالاگذر نشان می‌دهند.

عوامل متعددی باعث از دست رفتن همدوسی تصاویر راداری می‌شود و محدود به تخریب ناشی از زلزله نخواهد بود. برای رسیدن به مناطق عدم همدوسی ناشی از تخریب باید نویزها و عوامل از دست رفتن همدوسی (مناطق با پوشش گیاهی، مناطق پر شیب، تغییر ویژگی‌های دی الکتریک سطح زمین ناشی از تغییر رطوبت و تغییرات ناشی از فرسایش خاک و ساخت و سازها) حذف گردند. برای حذف تاثیر ضریب

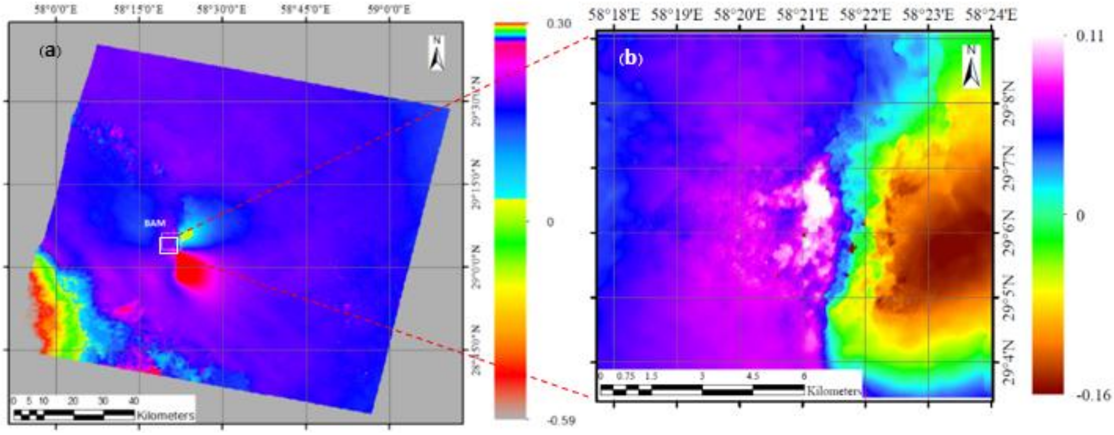
[1] *Shuttle Radar Topography Mission*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]

دی الکتریک، بر اساس بررسـی دادههـای هواشناسـی و وضـعیت بارنـدگی در دو زمـان تصـویر بـرداری، بـرای نویسندگان محرض شد که در این دو روز تغییر ضـریب دیالکتریک وجود نداشته است. یکی از عوامل از دست رفتن همدوسی، فرسایش خاک و تغییر وضـعیت زمـین ناشی از ساخت و ساز میباشد که با توجه به عدم وجود اطلاعات ساخت و ساز در شهر بم و کوچک بـودن بـازه زمانی تصویر برداری از تأثیر این دو عامل صرفنظر شد. عامل مهـم و تاثیرگـذار دیگـر، پوشـش گیـاهی اسـت.



شکل ۳: تصویر تداخل نما مدار پایین گذر ماهواره انویسَت



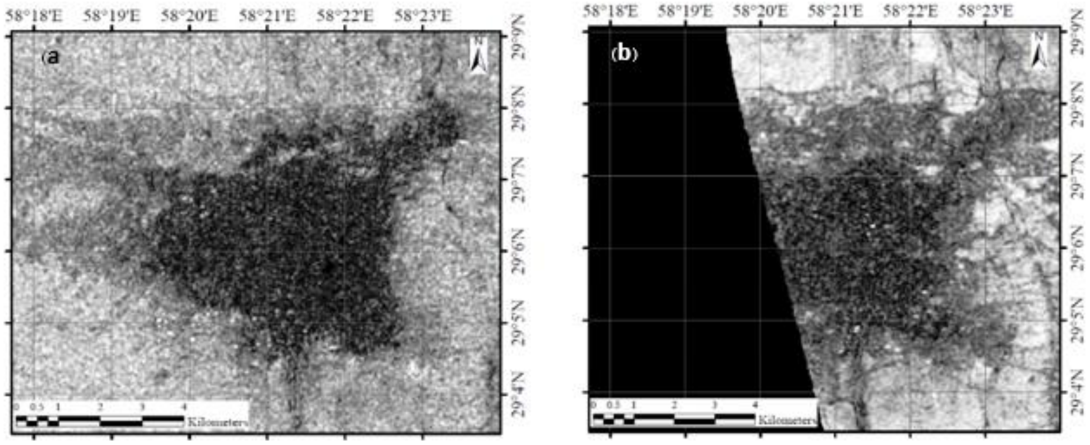
شکل ۴: تصویر جابجایی در جهت خط دید ماهواره برای مدار پایینگذر

با استفاده از تصاویر ماهواره کوئیکبِرد[1]، که بـه فاصـله ۱۰ روز پس از وقـوع زلزلـه تصـویربرداری شـده اسـت، سطح پوشش گیـاهی اسـتخراج و پیکسـلهـای آن از تصویر همدوسی ماسک[2] گردید.

[1] *QuickBird*

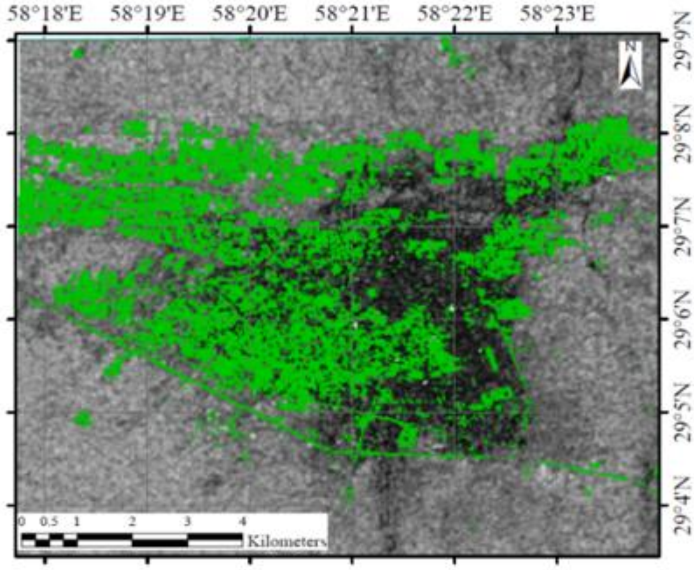
[2] *Mask*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]



شکل ۵: تصاویر همدوسی در دو مدار پایین گذر(a) و بالا گذر(b) ماهواره انویسَت در زلزله ۱۳۸۲ بم.

قدرت تفکیک سنجنده نـوری‌کوئیـک‌بِـرد، ۶۰ سـانتیمتر است؛ بنابراین سطح پوشش گیاهی با دقـت خـوبی (در قیاس با قدرت تفکیک مکانی انویست) در طبقـه‌بنـدی تصویر با شاخص‌های پوشش گیاهی قابل استخراج می‌باشد. برای تشـخیص سـطح پوشـش گیـاهی، شـاخص *NDVI* بر اساس باندهای قرمز و مادون قرمز تولید شـد و با استفاده از تفسیر بصری مقدار حد آسـتانه، پـس از آزمون چندین مقدار برای حد آستانه بـا سـعی و خطـا، مشخص شد. بـا اعمـال حـد آسـتانه شـاخص *NDVI* ، نقشه باینری پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعـه تهیـه گردید. شکل (۶) پراکندگی مناطق با پوشش گیاهی را در تصویر همدوسی مدار پـایین گـذر نشـان مـی‌دهـد.

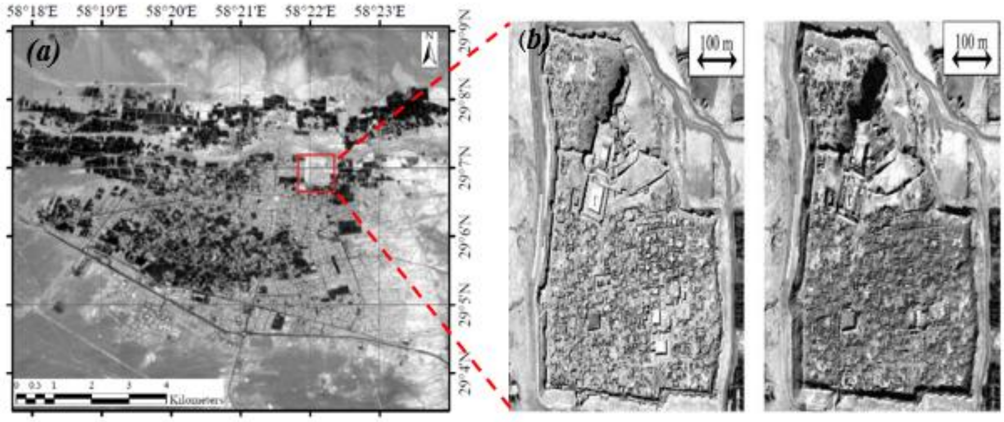


شکل ۶: تصویر پراکندگی مناطق با پوشش گیاهی در سطح شهر بم بر روی تصویر همدوسی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]

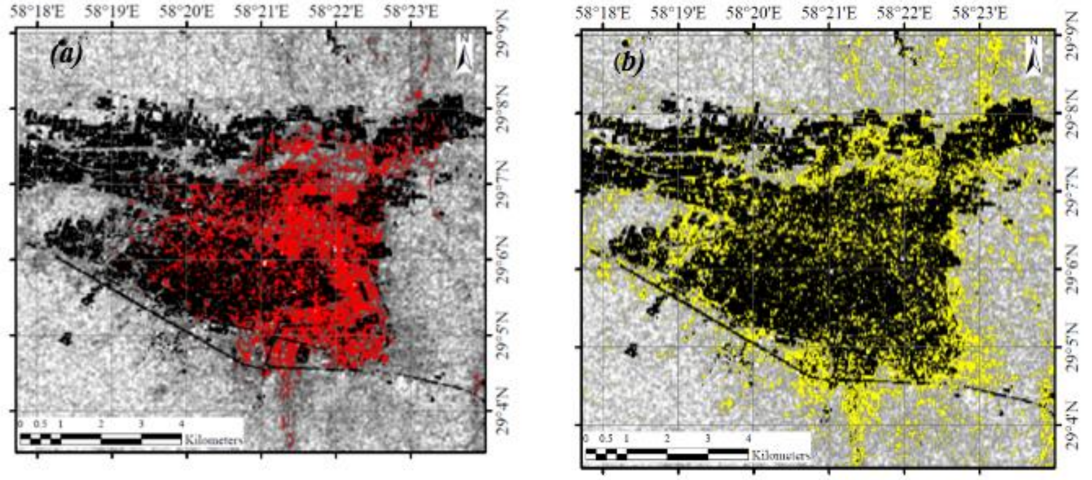
جهت ارزیابی دقت، چند ناحیه با توزیع یکنواخت در سطح منطقه به صورت تصادفی مشخص گردید و بر اساس آنها مقدار دقت کلی در حدود ۹۲ درصد محاسبه شد. عامل دیگر از دست رفتن همدوسی تصاویر، وجود مناطق پرشیب کوهستانی می‌باشد که بررسی مدل ارتفاعی رقومی شهر بم نشان می‌دهد که تغییرات ارتفاعی شهر ناچیز است و در نتیجه این عامل نمی‌تواند تاثیر ویژه‌ای در از دست رفتن همدوسی داشته باشد. بنابراین، با حذف مناطقی که همدوسی خود را به دلایلی غیر از تخریب از دست داده‌اند (به ویژه پوشش گیاهی) می‌توان مناطقی که دچار تخریب شده‌اند را شناسایی و استخراج نمود.

مقایسه تصاویر نوری کوئیک‌بِرد که محدوده ارگ تاریخی بم (قبل و بعد از زلزله) را نشان می‌دهد، بیانگر این است که این ذخیره باستانی کشور ایران، در اثر زلزله تقریباً به صورت کامل تخریب شده است (شکل(۷)) که این موضوع در نقشه طبقه‌بندی شده میزان تخریب که توسط سازمان نقشه‌برداری تهیه شده به خوبی دیده می‌شود (شکل(۲)). مقدار همدوسی پیکسل‌های واقع در محدوده ارگ بم استخراج شد و بعد از متوسط‌گیری از مقادیر همدوسی آن، مقدار میانگین برای ارگ برابر با ۰/۲۰۶ به‌دست آمد. با در نظر گرفتن شکل (۷-الف) و با در نظر گرفتن گزارش‌های بازدید میدانی از ارگ بم، میزان تخریب، بالای ۸۰٪ (یا معادل آن، تخریب کامل) تخمین زده می‌شود. این درصد ازتخریب، در مراجع، به عنوان فرو ریزش یا تخریب درجه ۵ شناخته می‌شود [۵۳ و ۵۴] (برای آگاهی از تقسیم بندی میزان تخریب به کلانتری و همکاران ۲۰۱۷ مراجعه شود [۵۴]). این میزان از تخریب باعث تنزل مقدار همدوسی به عدد ۰/۲ شده است. با توجه به این یافته، در این مقاله شاخص تخریب بالای ۸۰٪ ، همدوسی زیر ۰/۲ در نظر گرفته شد و در ادامه مطالعه به عنوان شاخص تشخیص تخریب بالای ۸۰٪ مورد استفاده قرار گرفت. بدین ترتیب مناطقی که میزان همدوسی آن‌ها کمتر یا مساوی با مقدار ۰/۲ باشد، به عنوان مناطق با تخریب کامل (فرو ریزش) در نظر گرفته خواهد شد. در شکل (۸- الف) سلول‌های با تخریب کامل (با در نظر گرفتن شاخص مطرح شده) در تصویر همدوسی حاصل از مدار پایین گذر نمایش داده شده است. از طرف دیگر، همدوسی بین ۰/۲ تا ۰/۴ (به صورت تجربی و بر اساس پراکندگی مقادیر همدوسی در شهر بم و مقایسه آن با نقشه طبقه‌بندی میزان خسارت سازمان نقشه برداری به عنوان تخریب بالا (۵۰٪ تا ۸۰٪ تخریب) لحاظ گردید که در شکل(۸-ب) پراکندگی این مناطق (با تخریب بالا) نمایش داده شد.



شکل۷: (الف) تصویر نوری کوئیک‌بِرد از شهر بم در تاریخ ۳ ژانویه ۲۰۰۴ (تصویر سمت چپ) ، (ب) تصویر نوری کوئیک‌بِرد ارگ بم قبل و بعد از زلزله (تصویر سمت راست)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]



شکل۸: صویر پراکندگی مناطق با تخریب کامل (الف) که با رنگ قرمز مشخص شده است و مناطق با تخریب بالا (ب) که با رنگ زرد مشخص شده است.

تصویر مورد بررسی در شهر بم که در محدوده طول جغرافیایی "۵۸°۱۷´۴۰ تا "۵۸°۲۴´۰۲ شرقی و عرض جغرافیایی"۲۹°۰۳´۳۰ تا "۲۹°۰۹´۰۴ شمالی می‌باشد، مجموعاً شامل ۳۵۷۲۵۰ سلول ۲۰×۲۰ مترمربع می‌باشد که از این تعداد، ۷۱۲۵۰ سلول مربوط به مناطق پوشیده از گیاه می‌باشد که این سطح، از تصویر همدوسی ماسک گردید. تعداد ۸۴۲۵۰ سلول مربوط به مناطق با تخریب کامل (با در نظر گرفتن آستانه حداکثر ۰٫۲ برای همدوسی پیکسل‌ها) و تعداد ۱۰۹۸۵۰ سلول مربوط به مناطق با تخریب بالا (با در نظر گرفتن آستانه بازه همدوسی بین ۰٫۲ تا ۰٫۴ برای پیکسل‌ها) است. بدین ترتیب از مساحت ۱۴۲۹۰ هکتاری مورد بررسی، ۳۳۷۰ هکتار دچار فروریزش یا خسارت بالای ۸۰٪ شده است. این مساحت حدود ۲۳٫۵٪ مساحت کل منطقه مطالعاتی می‌باشد. همچنین حدود ۴۳۹۴ هکتار دچار تخریب بالا (یا زیاد و خیلی زیاد) شده‌اند که این مساحت حدود ۳۱٪ کل منطقه مطالعاتی است. مساحت باقیمانده منطقه مطالعاتی که ۳۶۷۵ هکتار و شامل ۵۸۸۱۰ پیکسل می‌باشد، شامل مناطق تخریب پایین‌تر از ۵۰٪ یا بدون تخریب می‌باشد. نتایج فوق با نقشه طبقه‌بندی شده تخریب سازمان نقشه‌برداری *(NCC2003)* همخوانی قابل توجهی دارد. جدول(۲) اطلاعات آماری سلول‌های پردازش شده را نشان می‌دهد.

۴- بحث و نتیجه گیری

روش‌های متعددی برای بررسی میزان تخریب ناشی از زلزله وجود دارد. *InSAR* علاوه بر قابلیت‌های خود در کشف و آنالیز جابجایی و تغییرشکل‌های پوسته زمین، امکان بررسی میزان تخریب را نیز فراهم آورده است. تصویر همدوسی که یکی از محصولات *InSAR* است، ابزاری مناسب برای تحلیل تخریب ناشی از زلزله می‌باشد. تخریب زمین، ساخت‌وساز، پوشش گیاهی، تغییرات ضریب دی الکتریک و مناطق پر شیب از جمله عوامل از دست رفتن همدوسی می‌باشند. در این مقاله با استفاده از تصاویر نوری موجود در بازه زمانی زلزله بم، سلول‌هایی که شامل پوشش گیاهی بود کشف و ماسک گردید. از طرفی بررسی داده‌های هواشناسی نشان داد که میزان رطوبت خاک در تصاویر اصلی و پیرو، تفاوت قابل توجهی نداشته است. از ساخت‌وساز و فرسایش خاک در بازه زمانی تصویربرداری اصلی و پیرو نیز صرف‌نظر شد. با توجه به تغییرات ارتفاعی منطقه مطالعاتی، اثر شیب نیز در از دست رفتن همدوسی قابل

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]

اغماض می‌باشد. بنابراین فقط تخریب ساختمان‌ها می‌تواند به عنوان تنها عامل از دست رفتن همدوسی مطرح باشد. گزارش‌های میدانی، مقایسه تصاویر نوری قبل و بعد از زلزله و نقشه طبقه‌بندی شده میزان خسارت توسط سازمان نقشه برداری، همگی نشان می‌دهند که ارگ باستانی بم دچار تخریب کامل یا فروریزش شده است. از طرفی مقادیر همدوسی پیکسل‌ها در محدوده ارگ بم استخراج گردید که مقدار متوسط آنها برابر با ۰/۲۰۶ شد. بدین صورت مشخص شد که همدوسی در مناطق با تخریب بالاتر از ۸۰٪ به زیر ۰/۲ تنزل پیدا می‌نماید. بنابراین همدوسی زیر ۰/۲ به عنوان شاخص تخریب کامل انتخاب شد. از طرفی با بررسی نقشه طبقه‌بندی شده تخریب (شکل (۲))، گزارشات میدانی و بررسی تصاویر همدوسی تهیه شده، مشخص شد که مقدار همدوسی بین ۰/۲ تا ۰/۴ در مناطقی رخ داده است که میزان تخریب آنها بین ۵۰٪ تا ۸۰٪ می‌باشد که تحت عنوان تخریب بالا (یا تخریب زیاد و خیلی زیاد) در نظر گرفته شد. پس از انجام آنالیز تصویر همدوسی مدار پایین گذر ماهواره انویسَت مشخص شد که تقریبا ۳۳۷۰ هکتار از مجموع کل ۱۴۲۹۰ هکتار بررسی شده، همدوسی خود را تا حد زیادی از دست داده‌اند. این بدان معنی است که میزان ۲۳/۵٪ منطقه مطالعاتی پس از زلزله به صورت کامل تخریب شده است که در تصویر همدوسی مقدار کمتر از ۰/۲ داشته‌اند. همچنین ۴۳۹۴ هکتار (حدود ۳۱٪) نیز دچار تخریب زیاد و خیلی زیاد شده‌اند که مقدار همدوسی آن‌ها عددی بین ۰/۲ و۰/۴ است. نتایج نشان می‌دهد که مناطق تخریب بالا بیشتر در حومه شهر پراکندگی دارند و تمرکز تخریب کامل، بیشتر در مناطق شرقی شهر می‌باشد که مجاورت به گسل مسبب زلزله و وجود بافت فرسوده در شهر می‌تواند عامل تخریب وسیع در مناطق شرقی باشد. انتخاب آستانه حداکثر ۰/۲ برای همدوسی مناطق با تخریب کامل و ۰/۲ تا ۰/۴ برای مناطق با تخریب زیاد بر اساس مطالعات انجام شده روی تصاویر انویست در زلزله بم و شرایط خاص این منطقه انجام شده است؛ به ویژه این‌که اکثر مصالح ساختمانی مورد استفاده در ساختمان‌های تخریب شده در اثر این زلزله از نوع خشتی-گلی و آجری و بدون رعایت اصول مقاوم‌سازی ساختمان‌ها بوده است[۵۵]. بنابراین مسأله تعمیم پذیری این آستانه‌ها به مناطق و زلزله‌های دیگر با تصاویر ماهواره‌های متفاوت، خود می‌تواند موضوع تحقیقات بیشتر و گسترده‌تر باشد.

جدول۲: آمار کلی از شمارش سلول‌ها و پردازش میزان تخریب ناشی از زلزله شهر بم

تعداد کل سلول های بررسی شده	۳۵۷۲۵۰
مساحت کل بررسی شده (هکتار)	۱۴۲۹۰
تعداد سلول های حذف شده به دلیل پوشش گیاهی	۷۱۲۵۰
مساحت مناطق با پوشش گیاهی (هکتار)	2850
درصد مناطق با پوشش گیاهی	٪20
تعداد سلول های با همدوسی کمتر از ۰/۲ مربوط به تخریب کامل	۸۴۲۵۰
مساحت مناطق با تخریب کامل (هکتار)	۳۳۷۰
درصد تخریب کامل	٪ ۲۳/۵
تعداد سلول های با همدوسی بین ۰/۲ تا ۰/۴ مربوط به تخریب بالا	۱۰۹۸۵۰
مساحت مناطق با تخریب بالا (هکتار)	۴۳۹۴
درصد تخریب بالا	٪ ۳۱

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]

مراجع

[1] Erol, S., B. Erol and T. Ayan. A general review of the deformation monitoring techniques and a case study: analysing deformations using GPS/levelling. in XXth ISPRS Congress. 2004. Citeseer.

[2] Hanssen, R.F., Satellite radar interferometry for deformation monitoring: a priori assessment of feasibility and accuracy. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation(4-3)6.2005 :p. 253-260.

[3] Fatemi Nasrabadi, S.B., Questions of Concern in Drawing Up a Remote Sensing Change Detection Plan. Journal of the Indian Society of Remote Sensing: p. 1-15.

[4] Tong, X., Z. Hong, S. Liu, X. Zhang, H. Xie, Z. Li, . . . F. Bao, Building-damage detection using pre-and post-seismic high-resolution satellite stereo imagery: A case study of the May 2008 Wenchuan earthquake. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2012. **68**: p. 13-27.

[5] Samadzadegan, F., M.J.V. Zoj and M.K. Moghaddam, Fusion Of Gis Data And High-Resolution Satellite Imagery For Post-Earthquake Building Damage Assessment. 2010.

[6] Maruyama, Y., A. Tashiro and F. Yamazaki, Use of digital surface model constructed from digital aerial images to detect collapsed buildings during earthquake. Procedia engineering, 2011. **14**: p. 552-558.

[7] Rastiveis, H., F. Samadzadegan and P. Reinartz, A fuzzy decision making system for building damage map creation using high resolution satellite imagery. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2013. **13**(2): p. 455.

[8] Guo, H., L. Liu, L. Lei, Y. Wu, L. Li, B. Zhang, . . . Z. Li, Dynamic analysis of the Wenchuan Earthquake disaster and reconstruction with 3-year remote sensing data. International Journal of Digital Earth, 2010. **3**(4): p. 355-364.

[9] Turker, M. and B. Cetinkaya, Automatic detection of earthquake-damaged buildings using DEMs created from pre-and post-earthquake stereo aerial photographs. International Journal of Remote Sensing, 2005. **26**(4): p. 823-832.

[10] Woolard, J.W. and J.D. Colby, Spatial characterization, resolution, and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina. Geomorphology, 2002. **48**(1-3): p. 269-287.

[11] Rastiveis, H., F. Eslamizade and E. Hosseini-Zirdoo, BUILDING DAMAGE ASSESSMENT AFTER EARTHQUAKE USING POST-EVENT LiDAR DATA. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2015. **40**.

[12] Rehor, M., H.P. Bähr, F. Tarsha-Kurdi, T. Landes and P. Grussenmeyer, Contribution of two plane detection algorithms to recognition of intact and damaged buildings in lidar data. The Photogrammetric Record, 2008. **23**(124): p. 441-456.

[13] Li, M., L. Cheng, J. Gong, Y. Liu, Z. Chen, F. Li, . . . X. Song, Post-earthquake assessment of building damage degree using LiDAR data and imagery. Science in China Series E: Technological Sciences , (2)51.2008 p. 133-143.

[14] Trinder, J. and M. Salah, Aerial images and LiDAR data fusion for disaster change detection. ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci, 2012. **1**: p. 227-232.

[15] Tian, J., A.A. Nielsen and P. Reinartz, Building damage assessment after the earthquake in Haiti using two post-event satellite stereo imagery and DSMs.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]

*International Journal of Image and Data Fusion, 2015. **6**(2): p. 155-169.*

*[16]Shi, J., J. Wang and Y. Xu, Object-based change detection using georeferenced UAV images. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci, 2011. **38**: p. 177-182.*

[17]Adams, B.J., C.K. Huyck, B. Mansouri, R.T. Eguchi and M.J.M.R. Shinozuka, Application of high-resolution optical satellite imagery for post-earthquake damage assessment: The 2003 boumerdes (algeria) and bam (iran) earthquakes. MCEER Research Accomplishments 2004: p. 173-186.

*[18]Arciniegas, G.A., W. Bijker, N. Kerle and V.A. Tolpekin, Coherence-and amplitude-based analysis of seismogenic damage in Bam, Iran, using ENVISAT ASAR data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007. **45**(6): p. 1571-1581.*

*[19]Massonnet, D., M. Rossi, C. Carmona, F. Adragna, G. Peltzer, K. Feigl and T. Rabaute, The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. Nature, 1993. **364**(6433): p. 138.*

*[20]Gabriel, A., R. Goldstein and H. Zebker, Mapping small evaluation changes over large areas: Differential radar interferometry. Journal of Geophysical Research, 1989. **94**(B7).*

*[21]Zebker, H.A. and R.M. Goldstein, Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 1986. **91**(B5): p. 4993-4999.*

*[22]Lanari, R., P. Lundgren and E. Sansosti, Dynamic deformation of Etna volcano observed by satellite radar interferometry. Geophys Res Lett, 1998. **25**: p. 1541-1544.*

*[23]Amelung, F., S. Jónsson, H. Zebker and P. Segall, Widespread uplift and 'trapdoor'faulting on Galapagos volcanoes observed with radar interferometry. Nature, 2000. **407**(6807) p. 993-996.*

*[24]Pritchard, M.E. and M. Simons, A satellite geodetic survey of large scaledeformation of volcanic centers in the central andes. Nature, 2002. **418**(6894): p. 167-171.*

[25]Motagh, M., J. Hoffmann, B. Kampes, M. Baes and J. Zschau, Strain accumulation across the Gazikoy–Saros segment of the North Anatolian Fault inferred from Persistent Scatterer Interferometry and GPS measurements. Earth Planet. Sci. Lett, 2007.

[26]Motagh, M., R. Wang, T. Walter, R. Burgmann, E. Fielding and J. Anderssohn , Coseismic slip model of the 2007 August Pisco earthquake (Peru) as constrained byWide Swath radar observations. Geophys. J. Int, 2008: p. 842-848.

*[27]Pollitz, F.F., C. Wicks and W. Thatcher, Mantle flow beneath a continental strike-slip fault: postseismic deformation after the 1999 hector mine earthquake. Science, 2001. **293**(5536): p. 1814-1818.*

*[28]Jacobs, A., D. Sandwell, Y. Fialko and L. Sichiox, The 1999 (Mw 7.1) hector mine, california, earthquake: near-field postseismic deformation from ERS interferometry. Bull. Seism. Soc. Am., 2002. **92**(4): p. 1433-1442.*

*[29]Hu, J., Z.-W. Li, Q. Sun, J.-J. Zhu and X.-L. Ding, Three-dimensional surface displacements from InSAR and GPS measurements with variance component estimation. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2012. **9**(4): p. 754-758.*

*[30]Amelung, F., D.L. Galloway, J.W. Bell, H.A. Zebker and R.J. Laczniak, Sensing the ups and downs of Las Vegas: InSAR reveals structural control of land subsidence and aquifer system deformation. Geology, 1999. **2(6)7** p. 483-486.*

*[31]Burgmann, R., P.A. Rosen and E.J. Fielding, Synthetic aperture radar interferometry to measure Earth's surface topography and its deformation. Annual review of earth and planetary sciences, 2000. **28**(1): p. 169-209.*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]

[32] Ryder, I. and R. Burgmann, Spatial variations in slip deficit on the central San Andreas fault from InSAR. Geophysical Journal Intl., 2008. **175**(3): p. 837-852.

[33] Amighpey, M., B. Voosoghi and M. Dhghani, Earth surface deformation analysis of 2005 Qeshm earthquake based on three-dimensional displacement field derived from radar imagery measurements. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2009. **11**: p. 156-166.

[34] Turker, M. and B. Cetinkaya, Automatic detection of earthquake‐damaged buildings using DEMs created from pre‐ and post‐earthquake stereo aerial photographs. International Journal of Remote Sensing, 2005. **26**(4): p. 823-832.

[35] Ferretti, A., C. Prati and F. Rocca, Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001. **39**(1): p. 8-20.

[36] Usai, S. and R. Klees, SAR interferometry on a very long time scale: a study of the interferometric characteristics of man-made features. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 19(4) 37.99 p. 2118-2123.

[37] Weydahl, D., Analysis of ERS SAR coherence images acquired over vegetated areas and urban features. International Journal of Remote Sensing, 2001. **22**(14): p. 2811-2830.

[38] Matsuoka, M. and F. Yamazaki, Use of interferometric satellite SAR for earthquake damage detection. Sat 2, 2000: p. z1.

[39] Suga, Y., S. Takeuchi, Y. Oguro, A. Chen, M. Ogawa, T. Konishi and C. Yonezawa, Application of ERS-2/SAR data for the 1999 Taiwan earthquake. Advances in Space Research, 2001. **28**(1)p. 155-163.

[40] Yonezawa, C. and S. Takeuchi, Decorrelation of SAR data by urban damages caused by the 1995 Hyogoken-nanbu earthquake. International Journal of Remote Sensing, 2001. **22**(8): p. 1585-1600.

[41] Bignami, C., M. Chini, N. Pierdicca and S. Stramondo. Comparing and combining the capability of detecting earthquake damages in urban areas using SAR and optical data. in IGARSS 2004. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2004. IEEE.

[42] Fielding, E.J., M. Talebian, P.A .Rosen, H. Nazari, J.A. Jackson, M. Ghorashi and R. Walker, Surface ruptures and building damage of the 2003 Bam, Iran, earthquake mapped by satellite synthetic aperture radar interferometric correlation. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2005)110 .B3.(

[43] Mansouri, B., M. Shinozuka, C. Huyck and B. Houshmand, Earthquake-induced change detection in the 2003 Bam, Iran, earthquake by complex analysis using Envisat ASAR data. Earthquake Spectra, 2005. **21**(S1): p. 275-284.

[44] Wang, T., M. Liao and D. Perissin, InSAR coherence-decomposition analysis. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2010. **7**(1): p. 156-160.

[45] Jung, J., D.-j. Kim, S.-h. Yun and M. Lavalle. Damage mapping based on coherence model using multi-temporal polarimetric-interferometric UAVSAR data. in 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2017. IEEE.

[46] Hanssen, R.F., Radar interferometry: data interpretation and error analysis. Vol. 2. 2001: Springer Science & Business Media.

[47] Zebker, H.A. and J. Villasenor, Decorrelation in interferometric radar echoes. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, 1992. **30**(5): p. 950-959.

[48] Hoffmann, J., A. Roth and S. Voigt. Interferometric displacement and damage assessment for the 2003 Bam earthquake. in Envisat & ERS Symposium. 2005.

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157] [Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]

[49]Berberian, M. and R.S. Yeats, Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau. Bulletin of the Seismological society of America, 1999. **89**(1): p. 120-139.

[50]Fu, B., Y. Ninomiya, X .Lei, S. Toda and Y. Awata, Mapping active fault associated with the 2003 Mw 6.6 Bam (SE Iran) earthquake with ASTER 3D images. Remote Sensing of Environment, 2004. **92**(2): p. 153-157.

[51]Stramondo, S., M. Moro, C. Tolomei, F. Cinti and F. Doumaz, InSAR surface displacement field and fault modelling for the 2003 Bam earthquake (southeastern Iran). Journal of Geodynamics, 2005. **40**(2-3): p. 347-353.

[52]Adams, B.J., C.K. Huyck, M. Mio, C. Sungbin, S. Ghosh, H.C. Chung, . . . B. Mansouri, The Bam (Iran) Earthquake of December 26, 2003: Preliminary Reconnaissance Using Remotely Sensed Data and the VIEWS (Visualizing the Impacts of Earthquakes with Satellite Images) System. 2004: MCEER.

[53]Yamazaki, F., Y. Yano and M. Matsuoka, Visual damage interpretation of buildings in bam city using quickbird images following the 2003 bam, iran, earthquake. Earthquake Spectra, 2005. **21**(S1): p. 329-336.

[54]Kalantari, A., B. Hosseini, B. Mansouri, A. Sarvghad moghaddam, M. Bastami and H. Farshchi, Quick assessment forms for damaged buildings after the earthquake. 2017, International Institute of Earthquake Engineering and seismology.

[55]Mostafaei, H. and T. Kabeyasawa, Investigation and analysis of damage to buildings during the 2003 Bam earthquake. Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2004. **79**: p. 107-132.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7 No.4, Winter 2020

Research Paper

Estimation of Earthquake Damage Through Radar Interferometry (Case study: Bam 2003 Earthquake)

Hamid Mehrabi [1]****, Saied Zaferanieh*** [2]

1- Assistant Professor, Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan
2- M.Sc. Student of Geodesy, Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan

Abstract

The estimate of the damage caused by the earthquake and other natural disasters in the first days after the occurrence of these events can provide a quick damages assessment and help to manage the crisis. Several methods are available to investigate the extent of earthquake's damage. Optical remote sensing, photogrammetric methods (UAVs and LIDARs), radar interferometry (InSAR) and field observations are examples of the operational methods. Today, InSAR technology has become a powerful yet inexpensive tool for monitoring deformation and changes in the Earth's crust. The Coherence Product is derived from SAR imagery. The lack of coherence in radar images can be due to several factors such as vegetation, changes in the dielectric coefficient in the master and slave images, high gradient slop areas, soil erosion, damage degradation and etc. In this paper, we have tried to estimate the extent of the damaged area by focusing on InSAR technique and eliminating cells that have lost their coherence due to vegetation, dielectric coefficients, and high mountain range areas. In this regard, Envisat Advanced SAR images of Bam, Iran, that were acquired before and after the 2003 earthquake were used. The coherence of cells with a mean value of 0.2 in the area of Arg-e-Bam with its high degradation level indicates the ability to use this criterion in the rate of destruction. The results of the Bam earthquake investigation indicate that about 23.5% of 14290 hectares of the study area collapsed and about 31% of it had high degradation.

Keywords: Coherence Image, Damage Assessment, D-InSAR and InSAR.

***Correspondence Address**. Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Isfahan, Iran.*
***Tel:** +98(31) 37935297*
***Email:** h.mehrabi@eng.ui.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.157]