

بررسی تأثیر جابه‌جایی سطح زمین بر ساختمان‌های تخریبی در شهر بام با استفاده از تکنیک‌های فازی شی‌اگر و تداخل‌سنجی راداری

خلیل دیده‌بان^{*}: دانشجوی کارشناسی ارشد، GIS و سنجش از دور، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی،
khalilididhban@yahoo.com

بختیار فیضی‌زاده: عضو هیئت علمی، گروه GIS و سنجش از دور، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی
خلیل ولی‌زاده کامران: عضو هیئت علمی، گروه GIS و سنجش از دور، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی

تاریخ ارسال: ۹۵/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۲۵

چکیده

از مهم‌ترین مخاطراتی که امروزه و حتی در گذشته جامعه‌ی بشری را تهدید کرده است، مخاطره‌ی زلزله و اثرات حاصل از وقوع آن است. با توجه به اهمیت این موضوع، در این تحقیق به بررسی تغییرات سطح زمین پس از وقوع زمین‌لرزه در منطقه‌ی بام با استفاده از تصاویر راداری و نوری^۱ پرداخته شده است که با استفاده از تصاویر ماهواره انویست^۲، مربوط به زمان‌های قبل و بعد از زلزله‌ی بام، اقدام به برآورد میزان جابه‌جایی حادث شده در سطح منطقه‌ی مورد مطالعه گردید. همچنین با استفاده از تصویر پانکروماتیک ماهواره‌ی IRS هندوستان با دقت مکانی پنج متر و انجام تکنیک فیوژن^۳ از نوع ادغام رزولوشن فیلتر بالا گذر^۴ با استفاده از تصاویر استر^۵ و عکس‌های هوایی منطقه‌ی بام مربوط به سال ۱۳۸۳ اقدام به اجرای الگوریتم فازی شی‌اگر^۶ برای استخراج خودکار ساخت و سازهای موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه شد. با توجه به تأثیر سازندهای زمین‌شناسی در تعیین مکان‌های مناسب برای ساخت و سازها و بررسی میزان اثرپذیری سازندهای تشکیل‌دهنده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه از زلزله‌ی به‌وقوع پیوسته در منطقه، از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد. در مرحله‌ی تجزیه و تحلیل پژوهش، نتایج حاصل از هر یک از مراحل عملی انجام شده با یکدیگر انطباق داده شدند. به طوری که میزان جابه‌جایی در اثر زمین‌لرزه بین ۰.۱۹- و ۰.۳۲ در تغییر بوده و نتایج مربوط به استخراج خودکار ساختمان‌های تخریبی به‌وسیله‌ی عملگرهای AND و OR دقتی به ترتیب برابر ۹۳ درصد و ۹۸ درصد نشان دادند، که با انطباق این لایه‌ها با هم ارتباط بین جابه‌جایی زمین، واکنش‌پذیری سازندها از جابه‌جایی و تخریب ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: تداخل‌سنجی، رادار، فازی شی‌اگر، زلزله‌ی بام

A study of earth surface displacement influence on damaged buildings in Bam; applying Insar and fuzzy object-oriented techniques

Khalil didehban^{1*}, Bakhtiyar Feizizadeh², Khalil valizadeh Kamran³

Abstract

One of the most important risks that ever has to threaten human society is an earthquake. we studied these ground changes after occurring earthquake in Bam by using optic and radar images. In this research, we estimated amount of movement occurred in preceding area by using these Envisat satellite Remote Sensing images before and after earthquake in Bam. Also by using Indian IRS panchromatic image with 5-meter local accuracy and doing fusion techniques like HPF with Aster images and aerial photos of Bam in 2004 with Fuzzy object-based algorithm technique automatically studied building determination in this area. According to the effects of geological formations, in terms of finding appropriate places for building and construction as well as evaluate the effects of regional formations in the study area, which earthquake was occurred, 1:100,000 geological maps are used. In step analysis of research, the results from every step adapted with each other so that amount of movement through earthquake had changed between -0.19 to 0.32 and results from automatic determination of ruined buildings by And & Or operators had accuracy about 93% and 98% respectively. Correlation between ground movement and damage of buildings was evaluated by adapting these levels with each other. This correlation demonstrates linear correlation between results. Awareness of correlation between construction and building reactivity to the earthquake movements can improve urban managing and planning and decrease damages to the minimum.

Key words: Interferometry, Radar, Fuzzy object-oriented, Bam earthquake

1. Khalilididhban, MSc student The department Of Gis & Remote sensing, University Of Tabriz, Faculty of Geogrphy and Planning, Email:khalilididhban@yahoo.com

2. Dr. Bakhtiar Feizizadeh, Proffesor - Associate The Department Of GIS & Remote Sensing, university Of Tabriz, Faculty of Geogrphy and Planning

3. Dr. Khalil valizadeh kamran, Proffesor - Associate The Department Of GIS & Remote Sensing, university Of Tabriz, Faculty of Geogrphy and Planning

۳۳

شماره پانزدهم

بهار و تابستان

۱۳۹۸

دوفصلنامه علمی و پژوهشی



بررسی تأثیر جابه‌جایی سطح زمین بر ساختمان‌های تخریبی در شهر بام با استفاده از تکنیک‌های فازی شی‌اگر و تداخل‌سنجی راداری

است [۵]. در رابطه با تحقیق حاضر، تحقیقات مشابهی در داخل و خارج کشور انجام گرفته است.

در تحقیقی با عنوان استفاده از روش تداخل سنجی راداری در مطالعه‌ی زمین‌لرزه‌ی بم و زمین‌لرزه‌ی ازمیت ترکیه از به‌کارگیری سه تصویر راداری برای تولید اینترفروگرامتری استفاده کردند. در نهایت با شمارش تعداد فرینج‌های تصویر اینترفرومتری، بزرگای زلزله و همچنین جابه‌جایی حادث شده در مناطق مورد مطالعه را برآورد کردند [۶].

در بررسی کاربرد رادار در پیش‌نشاندگی زلزله با استفاده از تکنیک اینترفرومتری در تحلیل زلزله‌ی بم از سه تصویر رادار انویست و نرم‌افزار دوریس^۴ در محیط لینوکس برای پردازش استفاده نموده‌اند که میزان جابه‌جایی و بزرگی زمین‌لرزه را با شمارش فرینج‌های حاصل از اینترفروگرام به دست آوردند [۷].

برخی محققان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی به بررسی گسل و شکستگی‌های ناشی از زمین‌لرزه‌ی بم اقدام نموده‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، شکستگی‌های کششی ایجاد شده در محدوده به سمت شرق مشخص شده است [۸].

در تحقیقی برای بررسی تغییرات سطح پوسته‌ی زمین حاصل از پدیده‌ی زمین‌لرزه در دو منطقه‌ی بم و فیروزآباد کجور از تصاویر سنجش از دوری استفاده کردند. به طوری که برای منطقه‌ی فیروزآباد از تصاویر ماهواره‌ی IRS و سنجنده‌ی پانکروماتیک و Liss III و برای منطقه‌ی بم از تصاویر راداری انویست استفاده کردند. نتایج حاصل از این تحقیق مؤید کشف گسل پنهان در هر دو منطقه و برآورد میزان جابه‌جایی سطح زمین در منطقه‌ی بم است [۹].

در تحقیقی با عنوان کاربرد تکنیک تداخل سنجی راداری در آشکارسازی تغییرات جابه‌جایی سطحی در حوزه‌ی مخاطرات زمین‌ساختی با استفاده از تصاویر راداری میزان تغییرات حاصل از جابه‌جایی و بزرگی زلزله‌ی بم را برآورد کردند [۱۰].

در تحقیقی برای بررسی جابه‌جایی‌های پیش لرز گسل اهر-ورزقان با استفاده از سری زمانی ۲۰ تصویر راداری بین سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۱۰ تداخل سنجی راداری را به روش پراکنشگرهای پایدار اجرا کردند. که نتایج اخذ شده نشان داد بیشترین نرخ جابه‌جایی در محدوده‌ی مورد مطالعه حدود ۹ میلی‌متر بر سال است [۱۱].

در تحقیقی تحت عنوان استخراج شیء‌گرای ساختمان‌ها از تصویر ماهواره‌ای VHR و آشکارسازی تخریب لرزه‌ای آن‌ها، برمبنای آنالیز بافتی و استفاده از شبکه‌ی عصبی اقدام به استخراج ساختمان‌ها و برآورد میزان آسیب لرزه‌ای آن‌ها پرداختند. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا، تکنیک شیء‌گرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه عملیات طبقه‌بندی تصاویر انجام گرفت. سپس با مقایسه‌ی نقشه‌ی پارس‌های ساختمانی، ارزیابی صحت نقشه‌ی استخراج ساختمان‌ها صورت گرفت [۱۲].

در تحقیقی برای نقشه‌برداری از جابه‌جایی ایجاد شده بر اثر زلزله‌ی لندرز با تکنیک تداخل سنجی راداری از تصاویر راداری ERS-1 استفاده کردند که با کمک تکنیک تداخل سنجی راداری

مخاطرات طبیعی امروزه به یک مسئله‌ی دارای اهمیت روزافزون در تمام دنیا مبدل گشته است. تکرار وقوع مخاطرات در مناطقی که جمعیت بزرگ انسانی را در خود جای داده است، به‌ویژه مناطق شهری در سال‌های اخیر افزایش یافته است. زلزله که به‌منزله‌ی یکی از ناملازمات اساسی طبیعی عصر حاضر شناخته شده است، همواره در مدت بسیار کوتاهی اتفاق می‌افتد و فجایع بزرگی را رقم می‌زند [۱]. با توجه به اینکه در این نوع مخاطرات امکان تخمین، هشدار قبلی و امکان تخلیه وجود ندارد، در صورت ناکافی بودن تدابیر حفاظتی و پیشگیری جامعه در مقابل این چنین مخاطراتی، میزان تلفات و خسارات جانی و مالی افزایش می‌یابد [۲]. پایداری و ایمنی در مقابل پدیده‌های طبیعی همیشه فکر بشر را به خود مشغول کرده است. در واقع آنچه که زلزله را به‌منزله‌ی تهدید مطرح می‌کند، نداشتن آمادگی بشر در مقابله با آن است. زلزله همیشه به‌منزله‌ی پدیده‌ای تکرارپذیر در طول تاریخ وجود داشته و در آینده نیز وجود خواهد داشت. وقوع چنین حادثه‌ای در بیشتر موارد تأثیرات ویران‌کننده‌ای بر سکونتگاه‌های انسانی برجای گذاشته و تلفات سنگینی بر ساکنان آن‌ها تحمیل کرده است. هر چند در دهه‌های گذشته با پیشرفت دانش بشری دانشمندان به چگونگی پیدایش این پدیده به صورت علمی پی برده‌اند و نحوه‌ی وقوع و پیامدهای ناشی از آن را مورد بررسی قرار داده‌اند، اما هنوز هم قادر به جلوگیری از بروز این پدیده و مقاومت در برابر این رخداد طبیعی نیستند و در بسیاری از موارد دانش لازم به‌منظور پیش‌بینی دقیق و علمی لحظه‌ی وقوع و قدرت این وقایع را ندارند [۳]. خطر وقوع زمین‌لرزه در ایران هم کاملاً شناخته شده است و تنها راه کاهش خطرات، اجرای برنامه‌های کاهش خطرات زلزله و ایمن‌سازی کشور در برابر زلزله است. در دو دهه‌ی گذشته، شاهد افزایش استفاده از داده‌های سنجش از دوری برای درک پدیده‌های اساسی مخاطرات طبیعی شده‌ایم. به‌گونه‌ای که سیستم‌های سنجش از دور ماهواره‌ای با پایش تغییرات حادث شده در مناطق مختلف سطح زمین، اطلاعات فضایی مداوم را در رابطه با این تغییرات مانند (زلزله، حرکت گسل‌ها، رانش زمین و ...) در اختیار دانشمندان علوم زمین قرار می‌دهند [۴]. به طوری که تکنیک تداخل سنجی راداری به‌منزله‌ی تکنیک بهتر و کاربردی سنجش از دور در سال‌های اخیر به سرعت توسعه یافته است. سیستم‌های دهانه ترکیبی راداری^۵ فضایی، سطح زمین را برای سال‌ها مشاهده کرده‌اند و داده‌های مشاهدات زمینی چندزمانه به دست آورده‌اند. بسیاری از مطالعات سنجش از دوری انجام گرفته، برای توسعه‌ی فناوری‌هایی بوده‌اند که به خوبی از اطلاعات به دست آمده سیستم‌های دهانه ترکیبی راداری استفاده کنند. این اطلاعات شامل استخراج طبقه‌بندی شیء‌گرا، شناسایی شکستگی و گسل، تداخل سنجی و شناسایی تغییرات سطح زمین با استفاده از تصاویر و غیره است. به طوری که کلیه‌ی این اطلاعات از طریق شناسایی تغییرات تصویر براساس تجزیه و تحلیل نسبی چندین تصویر به دست آمده در زمان‌های متفاوت

دوری و سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزار مناسبی برای مدیریت مخاطرات در سه زمان قبل، عین و بعد از وقوع مخاطره به حساب می‌آید که در نهایت منجر به مدیریت راحت‌تر مخاطراتی مانند زلزله خواهد شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق شهر بم است که در جنوب شرق ایران در استان کرمان قرار گرفته است. بم یکی از شهرهای مهم در استان کرمان و دومین شهر بزرگ استان به لحاظ مساحت است. که در محدوده‌ی عرض جغرافیایی ۲۹ تا ۲۹ و ۱۵ دقیقه‌ی عرض شمالی و در محدوده‌ی ۵۸ و ۱۰ دقیقه تا ۵۸ و ۳۵ دقیقه‌ی طول شرقی قرار دارد. همچنین ارتفاع مرکز شهر از سطح دریا ۱۰۶۷ متر است. در بهمن ماه سال ۱۳۸۲ زلزله‌ای به بزرگای ۶٫۵ ریشتر در این منطقه رخ داد که منجر به مرگ ۳۰۰۰ نفر و تخریب تقریباً ۸۵ درصد ساختمان‌های این شهرستان شد [۱۷]. در اثر این زمین‌لرزه به ارگ قدیمی و باستانی بم با قدمت حدود ۲۰۰۰ سال بزرگ‌ترین بنای خشتی جهان آسیب‌های جدی وارد آمد. با توجه به خسارات وارده، این زمین‌لرزه یکی از مخرب‌ترین زمین‌لرزه‌های تاریخ ایران است [۱۸]. بم از لحاظ زمین‌شناسی دارای قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه است. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در تصویر ۱ ارائه شده است.

روش تحقیق

با توجه به اینکه انتقال انرژی زلزله به ساخت و سازهای موجود در منطقه‌ی شهری از طریق سازندهای زمین‌شناسی از مباحث مهمی محسوب می‌شود و در تحقیقات کمتر مورد توجه واقع شده‌اند. در این تحقیق به منظور دستیابی به تغییرات حادث شده در سطح زمین و اثرات آن بر سازندهای زمین‌شناسی در ارتباط با تخریب ساخت و سازهای شهر بم ابتدا به برآورد میزان جابه‌جایی سطح زمین با تداخل‌سنجی تصاویر راداری قبل و بعد زلزله پرداخته شده و سپس با استفاده از تکنیک فازی شی‌اگرا اقدام به استخراج ساختمان‌های آسیب‌دیده‌ی شهر بم از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای شد. در نهایت آنالیزهای لازم برای بررسی واکنش‌های سازندها و اثرپذیری ساختمان‌ها از زلزله انجام شد. بدین ترتیب در بخش‌های زیر به تفصیل به شرح هر یک از این مراحل پرداخته می‌شود. مراحل عملی تحقیق در تصویر ۲ ارائه گردیده است.

تبدیل تصاویر راداری به فرمت (SLC)

یکی از کاربردهای مهم تصاویر راداری برآورد جابه‌جایی سطح زمین است. برای برآورد میزان جابه‌جایی سطح زمین ابتدا داده‌های خام باید تبدیل به فرمت SLC شوند، یعنی در داده‌های خام یک سری اعداد مختلط وجود دارد که باید به فاز تبدیل شوند.

حاصل از داده‌های راداری و اطلاعات توپوگرافی قبل و بعد از زلزله توانستند حرکات حاصل از زلزله‌ی ۱۹۹۲ کالیفرنیا را بررسی و اندازه‌گیری کنند. نتایج حاصل از کار آن‌ها با اطلاعات حاصل از مطالعات میدانی مطابقت داشت. همچنین تداخل‌سنجی راداری با دقت حدود ۳ سانتی‌متر بهتر از تکنیک‌های دیگر تصویربرداری فضایی نتایج را ارائه کرد [۱۳].

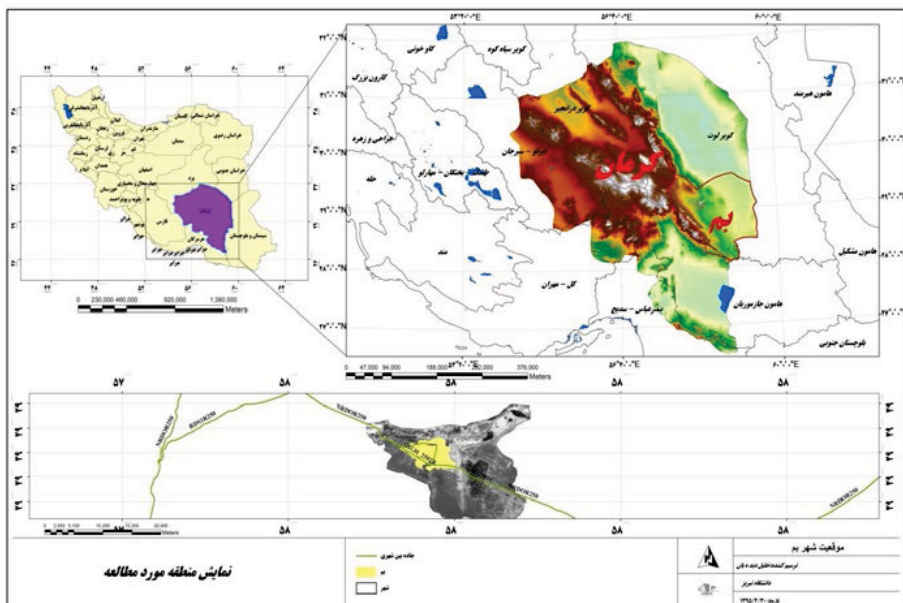
در یک کار تحقیقی با عنوان کاربرد داده‌های راداری برای پایش جابه‌جایی سطح زمین در اثر زمین‌لرزه هیوگوکن نان‌بو، از تصاویر راداری ERS در محدوده‌ی باند L استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده‌ی جابه‌جایی سطح در حدود ۰٫۶ متری در امتداد مسیر خط رؤیت راداری در اطراف شهر کوب و جابه‌جایی حدود ۱٫۱ متری هم در جزیره‌ی آواجی بود [۱۴].

در تحقیقی دیگر به منظور استخراج ساختمان‌ها، از تصاویر ماهواره‌ای Quickbird در قبل و بعد از زلزله‌ی ۱۳۸۲ بم استفاده کردند پس از هم مرجع کردن و تلفیق باند پانکروماتیک و باند چند طیفی تصویر برای به دست آوردن تصویر با جزئیات طیفی مناسب و قدرت تفکیک مکانی بیشتر تصویر را به چهار کلاس شامل ساختمان، زمین بایر، پوشش گیاهی و خیابان طبقه‌بندی کردند. که قطعه‌بندی تصویر با استفاده از تحلیل ریخت‌شناسی و سپس الگوریتم Watershed انجام شد. در نهایت با به دست آوردن نسبت مساحت ساختمان‌ها در قبل و بعد از زلزله، میزان تخریب ساختمان‌ها با توجه به درجات تخریب (EMS-98) در دو سطح تخریب برای زلزله‌ی شهر بم به دست آمد. دقت این روش ۸۰ درصد گزارش شده است [۱۵].

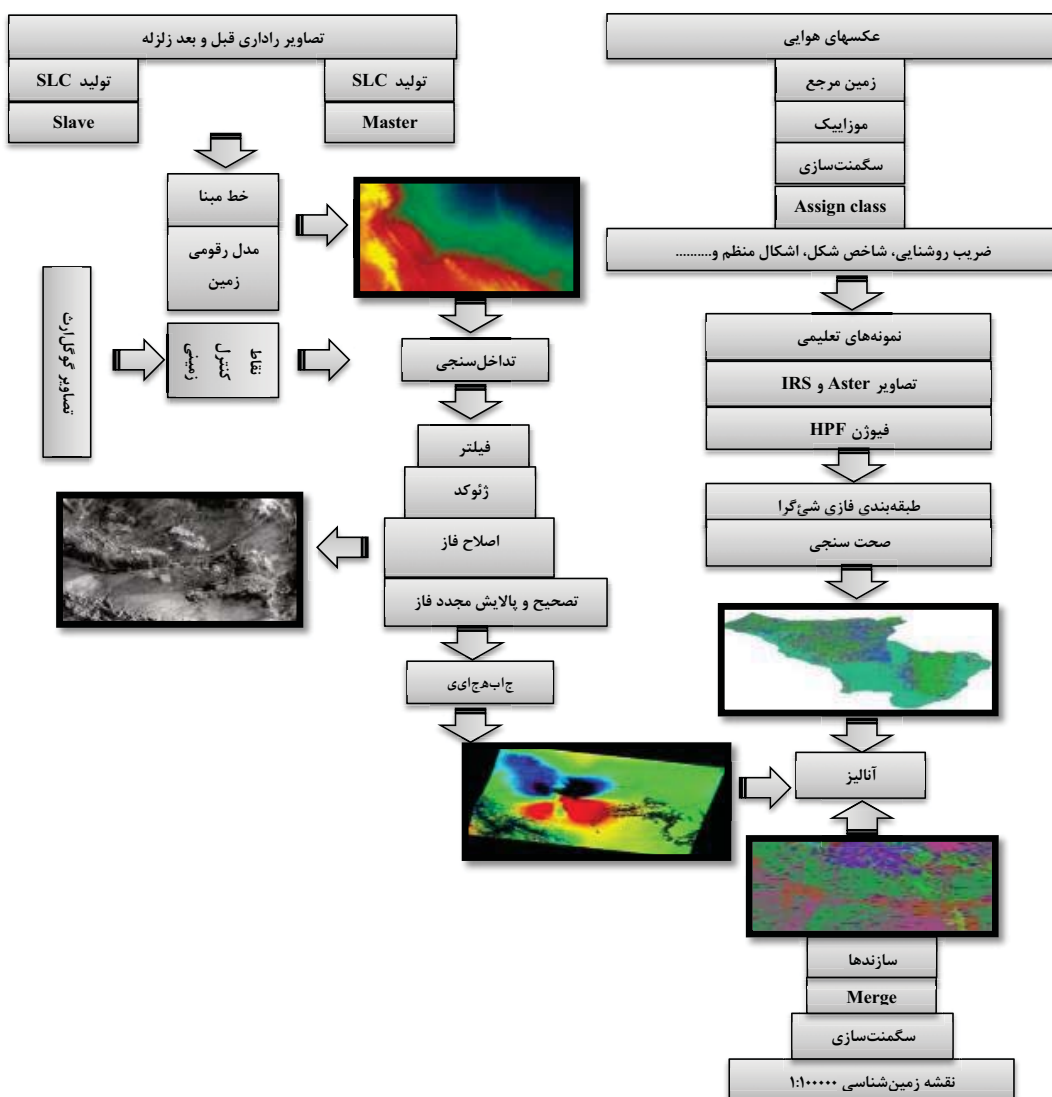
برای بررسی تغییر شکل زلزله‌ای، زلزله‌ی ۱۴ آوریل ۲۰۱۰ یوشو (Mw 6.9) از تصاویر راداری ENVISAT ASAR, ALOS PALSAR, استفاده کردند. که با تجزیه و تحلیل اینترفروگرام متوجه جابه‌جایی سطح زمین با نرخ ۵۴ سانتی‌متری که معادل لغزش چپ گرد ۱۸۰ سانتی‌متری است شدند [۱۶].

جمع‌بندی پیشینه‌ی تحقیق نشان می‌دهد که تکنیک‌های سنجش از دوری (تداخل‌سنجی و شی‌اگرا) در ارزیابی تغییرات اهمیت دارند، چون این تکنیک‌ها با فراهم آوردن داده‌هایی از پدیده‌های سطح زمین در قبل و بعد از حوادث زلزله از نقش‌آفرینی مناسبی برخوردار هستند. در تمام تحقیقات ذکر شده داده‌های سنجش از دوری با هدف تجزیه و تحلیل و تعیین انطباق بین داده‌های به دست آمده با تکنیک‌های مختلف سنجش از دوری مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. تحقیق حاضر با بهره‌گیری از نتایج تحقیقات مشابه، ارزیابی کارایی تکنیک‌های فازی شی‌اگرا و تداخل‌سنجی راداری را مد نظر قرار داده است که توانایی خوبی در مدیریت مخاطرات دارند.

علاوه بر موارد ذکر شده برای بررسی وضعیت تغییرات سطح زمین در زمان وقوع زلزله، تکنیک‌های سنجش از دوری مناسب‌تر تحت عنوان تکنیک‌های تداخل‌سنجی و فازی شی‌اگرا ارائه شده است. استفاده از تکنیک‌های جدید در شناسایی سازندهای زمین‌شناسی مقاوم در برابر زلزله برای بررسی‌های علوم زمین نیز اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. به‌طور کلی داده‌های سنجش از



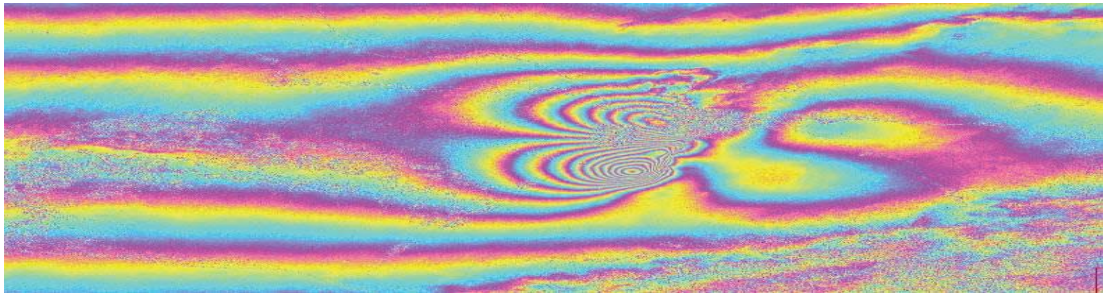
تصویر ۱: نمایش منطقه مورد مطالعه (۱۹)



تصویر ۲: فلوجارت (روند‌نما) تحقیق [۱۹]

۳۶
شماره پانزدهم
بهار و تابستان
۱۳۹۸
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی
بهرگان

بررسی تأثیر چاب‌جایی سطح زمین بر ساختمان‌های تخریبی در شهر
بیم با استفاده از تکنیک‌های فازی شی‌گرا و تداخل‌سنجی راداری



تصویر ۳: اینترفرومتری

تولید خط مبنا^{۱۱}

خط مبنا به میزان جدایی بین دو خط آنتن تعریف می‌شود. به عبارتی بهتر فاصله‌ی بین تصاویر اخذ شده تحت عنوان خط مبنا شناخته می‌شود و بسته به اینکه این فاصله در زمان و مکان باشد، خط مبنای مکانی و زمانی تعریف می‌شوند. اگر آنتن‌ها به صورت همزمان و در موقعیت مکانی متفاوت اقدام به اخذ زوج تصویر نمایند، بردار موقعیت ماهواره‌ها معرف خط مبنای مکانی است. اما اگر هدف مطالعه تغییرات ارتفاعی منطقه باشد و تصاویر اخذ شده از یک منظر و در زمان‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند، خط مبنای زمانی نامیده می‌شود [۲۰]. اطلاعات حاصله در این زمینه می‌تواند معیار مؤثر در داده‌های مورد استفاده و ارزیابی کیفیت اینترفرومتری باشد. به طوری که تغییرات ارتفاع با کاهش طول خط مبنا افزایش می‌یابد. بدین ترتیب که کاهش طول خط مبنا نویز سیستم را کم می‌کند. در نتیجه دقت‌های بالاتری از اختلاف ارتفاع به دست می‌آید. اگر طول خط مبنا از حد بحرانی بیشتر گردد، قابل استفاده نخواهد بود.

تولید تداخل سنجی^{۱۳}

زمانی می‌توان تداخل سنجی تصاویر راداری را ایجاد کرد که دو تصویر از یک منطقه در زمان‌های متفاوت در دسترس داشته باشیم. به طوری که هر زوج تصویر راداری قادر به تولید یک تداخل ناست. بنابراین با در دست داشتن n تصویر از منطقه می‌توان $n(n-1)/2$ تداخل سنجی تصاویر راداری بر پایه‌ی اندازه‌گیری یکی از ویژگی‌های امواج الکترومغناطیسی به نام فاز استوار است که موج ارسالی به صورت تابع $\sin x$ و موج بازتابی تابع برابر $\sin x + \pi/2$ است. ترکیب موج‌های بازتابی و ارسالی برابر $\pi/2$ خواهند بود که آن را تفاوت فاز می‌نامند. بنابراین تلفیق دو موج تداخل سنجی راداری یک تصویر اینترفرومتری را تولید می‌کند. البته اینکه کدام تداخل نماها می‌توانند دقت مورد نظر را تأمین کنند توسط پارامتری به نام همدوسی^{۱۴} تعیین می‌شود. در واقع همدوسی پارامتری مختلط است که مقدار دامنه‌ی آن معرف کیفیت تداخل نما براساس میزان همبستگی پیکسل‌های متناظر دو تصویر و مقدار فاز آن همان اختلاف فاز دو تصویر یا فاز تداخل ناست. محاسبه‌ی این پارامتر مطابق رابطه‌ی ۱ است [۲۱]. در تصویر ۳ این تداخل نما ارائه گردیده است.

رابطه‌ی ۱:

$$\gamma = \frac{E \{s_1 s_2^*\}}{\sqrt{E \{|s_1|^2\} \cdot E \{|s_2|^2\}}} = |\gamma| e^{i\phi}$$

که در آن E اپراتور امید ریاضی، s_1 و s_2 مقادیر مختلط پیکسل‌های متناظر، γ همدوسی بین دو پیکسل، ϕ اختلاف دامنه‌ی همدوسی، ϕ فاز تداخل نما، * اپراتور مزدوج مختلط است. تصویر حاصله از یکسری پیکسل‌های رنگی تشکیل شده است که فرینج نامیده می‌شود. هر فرینج معادل نصف طول موج است. بنابراین هر پیکسل جابه‌جا شده معادل نصف طول موج خواهد بود که می‌تواند نشان‌دهنده‌ی دور شدن یا نزدیک شدن به سنجنده باشد. به طوری که از این طریق می‌توان فرونشست یا بالآمدگی در محدوده‌ی مورد مطالعه را مشاهده کرد.

اعمال فیلتر

با توجه به نویزهای موجود در روی تصاویر، از فیلتر انطباقی^{۱۵} برای حذف نویزها استفاده شد. این فیلتر از انحراف معیار پیکسل‌های موج در یک کرنل برای محاسبه‌ی مقدار مرکز آن استفاده می‌کنند. این فیلتر ماهیت داده را عوض نمی‌کند و به دلیل اینکه فازها را تغییر می‌دهد، تنها زمانی از آن استفاده می‌شود، که جابه‌جایی در سطح زمین وجود داشته باشد. این فیلتر باعث شارپ شدن تصویر و نمایش جزئیات بیشتر در تصویر می‌شود. به طور کلی فیلتر تطبیقی مقدار نرم‌شدگی که به تصویر اعمال می‌کند، مطابق با موقعیتش در تصویر تغییر می‌نماید [۲۰].

اصلاح و پالایش مجدد فاز^{۱۶}

یکی از مهم‌ترین فرایندهای محاسبه‌ی جابه‌جایی، مرحله‌ی اصلاح و پالایش مجدد فاز است. از آنجا که در یک سیستم رادیانی^{۱۷}، فاز یک اینترفروگرام می‌تواند فقط به اندازه‌ی $\pi/2$ تغییر کند ولی در بعضی مواقع ممکن است تغییرات بیش از این ممکن باشد. فرایند اصلاح فاز باعث خواهد شد تا مقادیر واقعی پالس مجدداً محاسبه شده و ابهام $\pi/2$ اصلاح شود [۲۲].

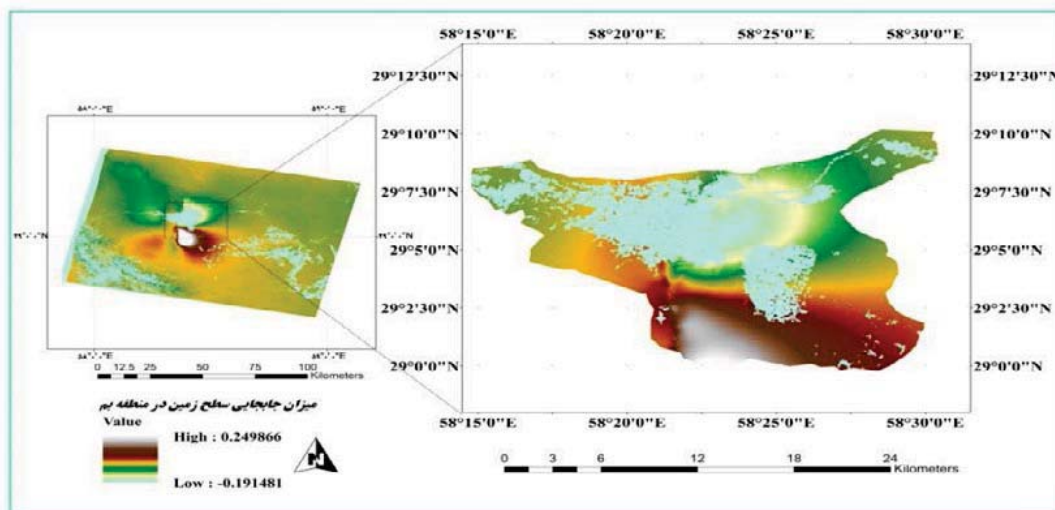
با توجه به دخالت عوامل مؤثر در فاز تداخل نما اصلاح هر یک از این عوامل به صورت رابطه‌ی ۲ است [۲۰].

رابطه‌ی ۲:

$$\phi_{int} = w (\phi_{topo} + \phi_{def} + \phi_{FE} + \phi_{noise} + \phi_{atm} + \phi_{orb})$$

در این رابطه ϕ_{topo} فاز توپوگرافی، ϕ_{FE} فاز ناشی از تغییرات زاویه‌ی دید سنجنده، ϕ_{noise} فاز ایجاد شده در اثر نویز، ϕ_{atm} فاز آتمسفر، ϕ_{orb} فاز خطای مداری و ϕ_{int} فاز تداخل نما هستند.

در نهایت برای تصحیح فاز اصلاح شده به مقادیر ارتفاعی و محاسبه‌ی میزان جابه‌جایی سطح زمین حتماً بهتر است مرحله‌ی پالایش مجدداً اجرا گردد. اجرای این مرحله باعث می‌شود تا



تصویر ۴: نقشه‌ی جابه‌جایی سطح زمین

علامت Qm^2 نشان داده می‌شوند. سازندهای کم‌ضخامت جدید در بعضی نقاط یکدستی سازندهای Qm^2 را برهم می‌زنند و با علامت m در نقشه‌ی زمین‌شناسی نشان داده می‌شوند. رسوبات مخروط افکنه‌ی قدیمی که به وسیله‌ی رسوبات مخروط افکنه‌ی جدیدتر برش داده می‌شوند و در بخش جنوب غربی منطقه قابل مشاهده است، در نقشه‌های زمین‌شناسی با علامت Qf^1 نشان داده می‌شوند. رسوبات مخروط افکنه با علامت Qf^2 نشان داده شده‌اند. آبرفت‌ها، مخروط‌های آبرفتی و تراس‌های آبرفتی جدید، آخرین و جدیدترین رسوبات منطقه هستند، در واقع تمام رسوبات دوره‌ی کواترن به صورت مخروط افکنه‌های منطبق روی هم قرار گرفته‌اند که بیانگر تغییرات اقلیمی دوره‌ی کواترن و آثار آن در این منطقه است. این سازندها با علامت Qa^1 در نقشه‌ی زمین‌شناسی قابل شناسایی است [۲۳]. در تصویر ۵ استخراج سازندها با نرم‌افزار اکوگنیشن^{۱۸} ارائه شده است.

استخراج ساختمان‌های آسیب‌دیده با استفاده از تکنیک فازی شی‌اگرا

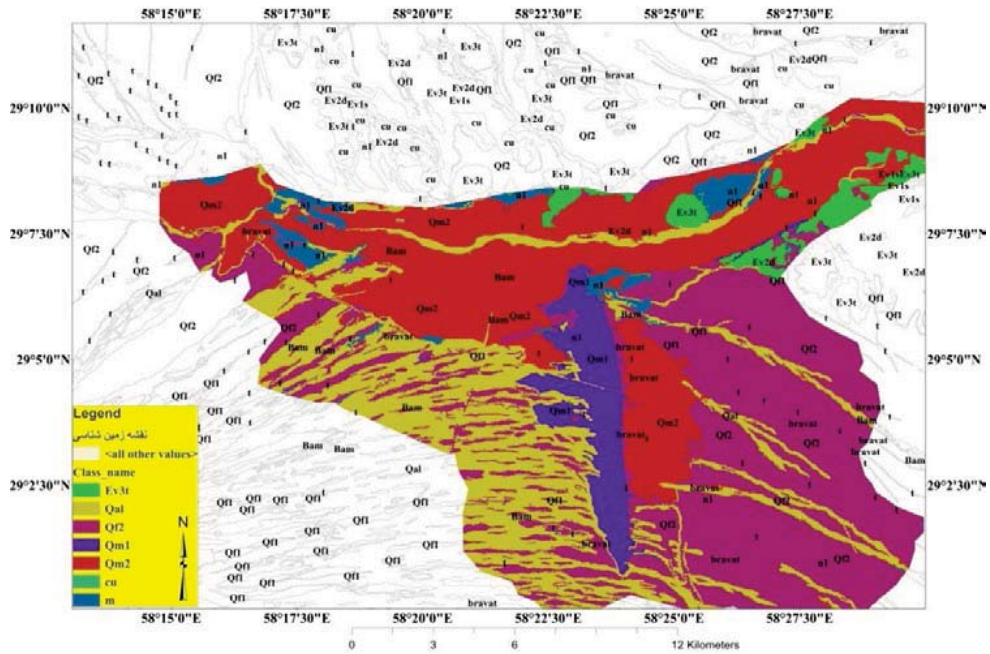
سگمنت‌سازی به روش چندتفکیکی^{۱۹}

این الگوریتم فرایندی، از پایین به بالا است و به صورت نواحی رشد با تک پیکسل‌هایی از اشیا شروع می‌شود. در مرحله‌ی پس‌آیند تعداد بی‌شماری از شی‌های تصویری در داخل یک واحد بزرگ ادغام می‌شوند. در سراسر این فرایند بهینه‌سازی اساسی، حداقل وزن ناهمگنی از اشیا‌ی تصویری تولید می‌شود. در هر یک از مراحل که زوج‌هایی از شی‌های تصویری همسایه با هم ادغام می‌شوند به عنوان رشدهایی کوچک با ناهمگنی معین باقی می‌مانند. اگر این رشدهای کوچک از آستانه‌ای که با استفاده از پارامتر مقیاس تعیین می‌شود تجاوز کند فرایند متوقف می‌شود. بنابراین سگمنت‌سازی چندتفکیکی روند بهینه‌سازی محلی است [۲۴]. در جدول ۱ پارامترهای سگمنت‌سازی و در تصاویر ۶ و ۷ نتیجه‌ی اعمال سگمنت‌سازی بر روی عکس هوایی منطقه‌ی مورد مطالعه نمایش داده شده است.

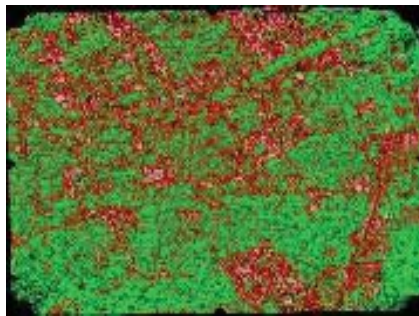
خطاهای احتمالی مداری تصحیح شده و مقدار انحراف (Off set)، فاز محاسبه شده تا از این طریق مقادیر فاز مطلق به دست آید [۲۲]، برای تبدیل فاز به جابه‌جایی، واحد مقادیر پیکسل‌های تصویر تولید شده از واحد فاز تبدیل به واحد جابه‌جایی می‌شوند. در تصویر ۴ نتیجه‌ی جابه‌جایی سطح زمین ارائه گردیده است.

تهیه‌ی سازندهای زمین‌شناسی

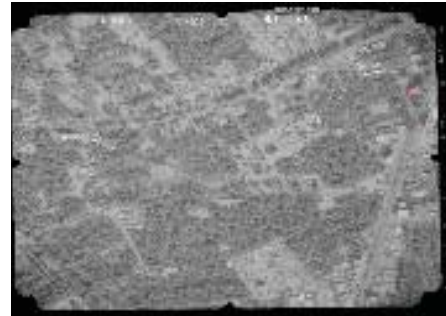
در این تحقیق با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و تکنیک قطعه‌بندی اقدام به استخراج سازندهای زمین‌شناسی شد. توف خاکستر با لایه‌بندی رسوبات تخریبی آتشفشانی، بازالتی، تراشی آندوزیتی، در نتیجه‌ی فعالیت‌های آتشفشانی گسترده در دوره‌ی انوسن به وجود آمده‌اند. شیب لایه‌ی این سازندها بین ۳۰ تا ۵۰ درجه است که تنها بخش شمال و شمال شرق منطقه را در بر گرفته است. این سازندها شرایط را برای وقوع حرکات دامنه‌ای به‌ویژه لغزش فراهم می‌کنند. غیر از این سازندها، بقیه‌ی سازندهای منطقه‌ی بیم مربوط به دوره‌ی کواترنی است. این سازندها در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ با علامت Ev^3t نشان داده شده‌اند. ماسه سنگ‌ها و سنگ‌های سیلتی قهوه‌ای روشن تا زرد، قدیمی‌ترین سازندهای تشکیل‌دهنده مربوط به دوره‌ی کواترنی هستند. پرتگاه گسل بیم بر روی این سازندها واقع شده است. این سازندها تنها در بخش غربی گسل واقع شده‌اند زیرا بالا آمدن بلوک غربی خط گسل مانع از پوشیده شدن آن‌ها به وسیله‌ی رسوبات جدیدتر شده است. شیب این رسوبات به سمت غرب بوده و مقدار آن بین ۱۰ تا ۳۰ درجه است. جریان‌های آبی که بخش غربی گسل را زهکشی می‌کنند پس از رسیدن به این دامنه‌ی شیب‌دار گسلی مسیرشان به سمت جنوب منحرف می‌شود. این رسوبات تنها در بخش یاد شده قابل مشاهده هستند و به نظر می‌رسد در سایر جاها به وسیله‌ی رسوبات آبرفتی جدیدتر پوشیده شده‌اند. این رسوبات با علامت Qm^1 نشان داده می‌شوند. مخروط‌های سیلتی به رنگ زرد روشن تا قهوه‌ای و ماسه سنگ‌های آزریتی، از دیگر سازندهای مربوط به دوره‌ی کواترنی است که از سازندهای Qm^1 جدیدتر هستند. شهر بیم و بروات بر روی این سازندها واقع شده‌اند و با



تصویر ۵: سازند زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه



تصویر ۷: سگمنت‌سازی عکس هوایی



تصویر ۶: عکس هوایی منطقه‌ی مورد مطالعه

جدول ۱: پارامترهای سگمنت‌سازی

مقیاس سگمنت	ضریب شکل	ضریب فشردگی
۷۰	۰.۱	۰.۹

معیارهای استخراج ساختمان‌های تخریبی ضریب‌روشنایی^{۲۰}

ضریب روشنایی تصویری یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در شناسایی نسبت تخریب است. معمولاً ضریب روشنایی مناطق پس از وقوع زلزله به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد، به طوری که ساختمان‌های سالم به دلیل ایجاد سایه، تیره‌تر می‌شوند. به عبارتی ضریب روشنایی پایینی دارند و ساختمان‌های تخریب شده در اثر زلزله سایه را از دست داده و در نتیجه باعث افزایش روشنایی در تصویر خواهد شد. که در این تحقیق از این شاخص به عنوان راهی برای محاسبه‌ی اطلاعات طیفی لایه‌های تصویر استفاده شد. به طوری که حداقل آستانه ۱۴۲ و حداکثر آستانه ۱۹۲ برای

استخراج ساختمان‌ها تعیین شد [۲۵]. محاسبه‌ی این معیار در رابطه‌ی ۳ ارائه گردیده است. رابطه‌ی ۳:

$$\bar{C}(V) = \frac{1}{W_B} \sum_{k=1}^K W_k^B \bar{C}_k(V)$$

که در این رابطه W_k^B وزن ضریب روشنایی لایه‌ی تصویر، K تعداد لایه‌های تصویر، $C_k(V)$ میانگین شدت لایه تصویر، W^B مجموعه وزن‌های ضریب روشنایی لایه‌های تصویر است. **نسبت طول به عرض^{۲۱}**

یکی دیگر از معیارها برای شناسایی مناطق آسیب دیده معیار نسبت طول به عرض اشیای تصویر است. به ویژه برای استخراج راه‌های ارتباطی که تحت تأثیر زمین‌لرزه دچار آسیب دیدگی شده‌اند و همچنین قطع شدن مسیر راه‌ها در اثر تخریب ساختمان‌ها می‌تواند در شناسایی تخریب ساختمان‌ها کمک قابل توجهی کند. دامنه‌ی ارزش عوارض در این معیار [۰، بی‌نهایت] است. حداقل آستانه ۱،۱۷ و حداکثر آستانه ۱،۸۸ تعیین شد. برای محاسبه‌ی

شاخص ماتریس سطح خاکستری رخداد^{۲۵}

این شاخص از زیر معیارهای بافت به حساب می‌آید. که یک نوع ماتریس از ترکیب‌های مختلفی که در سطح خاکستری پیکسل‌ها در یک تصویر اتفاق می‌افتد، است. محاسبه‌ی ماتریس سطح خاکستری وابسته به چهار جهت ۰ درجه، ۴۵ درجه، ۹۰ درجه و ۱۳۵ درجه است. علاوه بر این، برای تک‌تک پیکسل‌های اشیای تصویر براساس سطح خاکستری لایه‌ی انتخاب شده محاسبه می‌شود. اگر توزیع ماتریس سطح خاکستری یکسان باشد ارزش آنتروپی بالا خواهد بود و اگر عناصر نزدیک به عدد صفر یا یک باشد ارزش آنتروپی کم است. حداقل آستانه ۶,۲۹ و حداکثر آستانه ۷,۲۸ تعیین شد [۲۵]. محاسبه‌ی آستانه‌ی این معیار در رابطه‌ی ۸ ارائه گردید.

$$\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (-\ln P_{i,j}) \quad \text{رابطه‌ی ۸:}$$

در این رابطه تعداد ردیف، تعداد ستون، مقدار نرمال در پیکسل، N تعداد سطرها یا ستون‌ها هستند. در نهایت با اعمال معیارها، استخراج ساختمان‌های تخریب شده از عکس‌های هوایی انجام گرفت. نمونه‌ای از شناسایی ساختمان‌های تخریبی در تصویر ۸ ارائه گردیده است.

فازی‌سازی

فازی‌سازی، گذر از یک سیستم شکننده به سیستم فازی را بیان می‌کند. در این بخش تابع و درجه‌ی عضویت مشخص شده، برای هر کدام از سطوح درجه عضویتی بین صفر و یک تعیین می‌شود. توابع عضویت فازی که بیشترین تکرار را دارند، به صورت یکنواخت، مثلثی، ذوزنقه‌ای زنگوله‌ای شکل هستند که هر کدام از این توابع درجه‌ی عضویت متفاوتی را تولید می‌کنند [۲۴].

معرفی عملگرها

عملگر And: به مفهوم حداقل ارزش از تمام قواعد تعریف شده‌ی ارزش بازگشتی است.

عملگر Or: نشان‌گر حداکثر ارزش است که به مفهوم حداکثر ارزش از تمام قواعد تعریف شده‌ی ارزش بازگشتی است. قوانین فازی اعمال طبقه‌بندی فازی را ممکن می‌سازد که مرکب از ارزش بازگشتی مجزا برای هر کدام از کلاس‌ها بوده و درجه عضویت کلاس‌ها را نشان می‌دهد. بزرگ‌ترین ارزش بازگشتی بیشترین درجه عضویت را نشان می‌دهد. در این تحقیق از هر دو عملگر برای شناسایی ساختمان‌های تخریب شده استفاده شد و برای تمام پارامترهای مورد استفاده، عملگر And و Or معرفی شدند [۲۴].

الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه

نرم‌افزار اکوگنیشن به منظور کاربرد روش فازی نوعی از طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه را ارائه می‌دهد که از این طریق تابع عضویت چندبعدی به‌طور خودکار تولید می‌شود. اصول نزدیک‌ترین همسایه عبارت است از ارائه‌ی مجموعه‌ای از شیء‌های نمونه برای هر کدام از کلاس‌ها و الگوریتمی که عملیات جستجو برای شیء‌های مشخص را در فضای عوارض سطوح برای هر کدام از شیء‌های تصویری انجام دهد [۲۴].

این معیار دو پارامتر طول و عرض اشیای تصویر مورد استفاده است که در رابطه‌ی ۴ ارائه گردیده است [۲۵].

$$\frac{Lenght}{Width}$$

رابطه‌ی ۴:

ضریب فشردگی^{۲۲}

این معیار جمع و جوری اشیای تصویر را توصیف می‌کند. به‌طوری‌که اشیای تصویری که جمع و جورتر هستند مرزشان کوچک‌تر نمایش داده می‌شود. فشردگی اشیای تصویر محصول طول و عرض، تقسیم بر تعداد پیکسل است. در اثر زلزله ساختمان‌ها جمع و جوری خود را از دست داده و باعث می‌شود میزان ضریب فشردگی این پارامتر تغییر کند. حداقل آستانه ۱,۹۵ و حداکثر آستانه ۳,۲۵ برای شناسایی ساختمان‌های تخریب شده تعیین شد. دامنه‌ی ارزش عوارض بین صفر و بی‌نهایت است که حالت ایدئال آن برابر یک است. در رابطه‌ی ۵ محاسبه‌ی این معیار ارائه گردیده است [۲۵].

$$\frac{2\lambda_1 2\lambda_2 2\lambda_3}{V_v} \quad \text{رابطه‌ی ۵:}$$

در این رابطه $2\lambda_1 2\lambda_2 2\lambda_3$ مقدار ویژه‌ی اشیای تصویر و V_v حجم شیء تصویر هستند.

اشکال منظم هندسی^{۲۳}

این معیار ویژگی منظم اشکال و اشیای تصویر را بیان می‌کند. در این معیار عدد صفر نشان‌دهنده‌ی بی‌نظمی و عدد یک اشکال منظم است. با توجه به اینکه در اشکال منظم نسبت طول و عرض اشیای تصویر برابر است در اثر زلزله این اشکال منظم نظمشان به هم خورده و می‌تواند معیار مناسبی برای تشخیص ساختمان‌های تخریب شده در کنار سایر معیارها باشد. حداقل آستانه ۰,۷۰ و حداکثر آستانه ۰,۸۲۵ برای استخراج ساختمان‌ها تعیین شد. برای تعیین آستانه‌ی این معیار از رابطه‌ی ۶ استفاده شده است [۲۵].

$$\frac{\{ \#(X, Y) \in P_v : p_v(X, Y) \leq 1 \}}{\#P_v} \quad \text{رابطه‌ی ۶:}$$

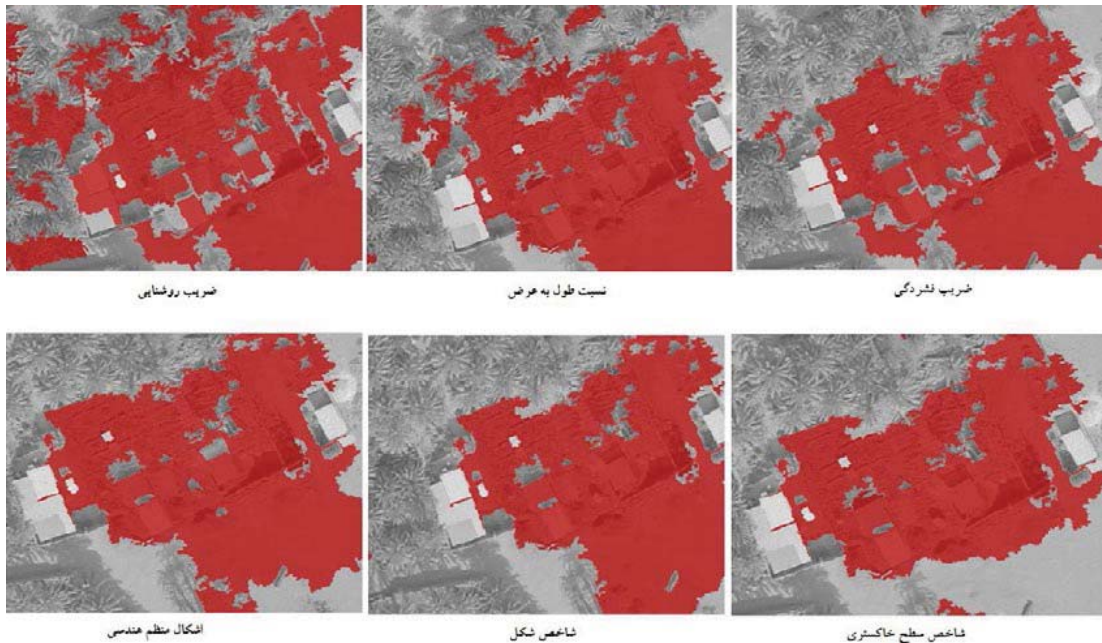
در این رابطه $p_v(X, Y)$ فاصله‌ی بیضوی در یک پیکسل است.

شاخص شکل^{۲۴}

این شاخص صافی مرز اشیای تصویر را بیان می‌کند. به‌طوری‌که اشیایی که نرم‌ترین و صاف‌ترین مرز را داشته باشند، پایین‌ترین شاخص شکل را خواهند داشت. محاسبه‌ی این شاخص از تقسیم طول مرز اشیای تصویر، بر چهار برابر ریشه‌ی دوم مساحت آن انجام می‌شود. و دامنه‌ی ارزش این شاخص بین عدد یک تا بی‌نهایت است. حداقل آستانه ۲,۵۸ و حداکثر آستانه ۴,۶ تعیین شد. حد ایدئال این شاخص برابر یک است. محاسبه‌ی این معیار در رابطه‌ی ۷ ارائه گردیده است [۲۵].

$$\frac{b_v}{4\sqrt{\#P_v}} \quad \text{رابطه‌ی ۷:}$$

در این رابطه b_v طول مرز اشیای تصویر و $4\sqrt{\#P_v}$ مرز مربع با مساحت آن است.



تصویر ۸: نمونه‌ای از شناسایی ساختمان تخریبی با استفاده از معیارهای شیء‌گرا

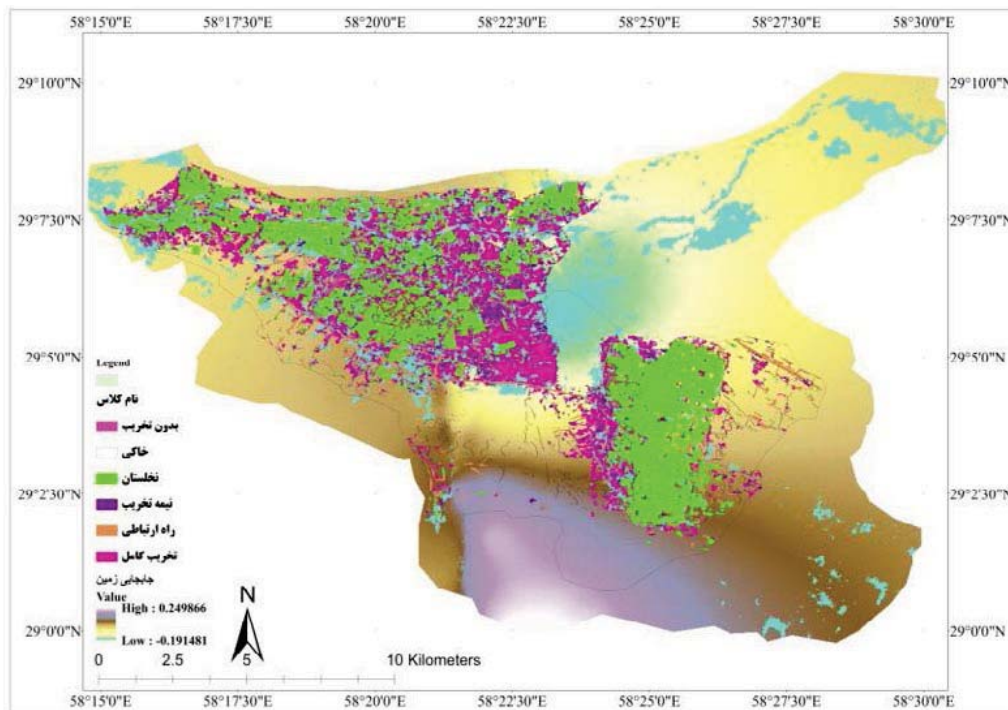
بحث و نتایج

در راستای بررسی چنین وضعیتی در منطقه، از تکنیک‌های سنجش از دور استفاده شد. برای بررسی وضعیت واکنش سازندها به امواج زمین‌لرزه و میزان جابه‌جایی آن‌ها از تکنیک تداخل سنجی راداری استفاده شد. با توجه به اینکه سنجنده‌های راداری امکان محاسبه‌ی تأخیر زمانی ارسال و دریافت امواج راداری را فراهم می‌کنند، ابزار مناسبی برای برآورد جابه‌جایی سطح زمین هستند. همچنین برای استخراج ساختمان‌های تخریبی بر روی سازندها از تکنیک فازی شیء‌گرا استفاده گردید. با توجه به اینکه عکس‌های هوایی، منطقه‌ی مورد مطالعه را به صورت کامل پوشش ندادند، برای استخراج سایر ساختمان‌های تخریب شده از تصاویر فیوژن IRS و استر استفاده شد. از طرفی به دلیل قدرت تفکیک متوسط تصویر IRS به نسبت عکس‌های هوایی، از ساختمان‌های تخریبی استخراج شده از عکس‌های هوایی به منزله‌ی نمونه‌های تعلیمی در تصاویر IRS استفاده شد. همچنین برای بالا بردن دقت طبقه‌بندی، الگوریتم فازی شیء‌گرا و دو اپراتور And و Or مورد استفاده واقع شدند. به طوری که به‌کارگیری مدل‌های فازی زمینه‌ای را ایجاد می‌کند تا بتوان دقت طبقه‌بندی را بالا برده و اختلاط کلاس‌ها را با به دست آوردن درجه‌ی عضویت به حداقل رسانید. برای هرکدام از معیارهای مورد استفاده در مرحله‌ی قبلی درجه‌ی عضویت تعیین کرده و برحسب میزان درجه عضویتی که دریافت کرده‌اند اقدام به شناسایی کلاس‌های تعیین شده می‌کنند. به‌طورکلی طبقه‌بندی شیء‌گرا براساس منطق فازی متناسب با شرایطی است که مفسر برای هر کلاس تعیین می‌کند. این شرط به‌وسیله‌ی توابعی که برای هر کلاس تعریف می‌شود بیان می‌گردد، که می‌تواند به‌صورت تابع عضویت، نزدیک‌ترین همسایه و یا شبیه‌سازی کلاس‌ها باشد. در فرایند طبقه‌بندی فازی، با تعیین

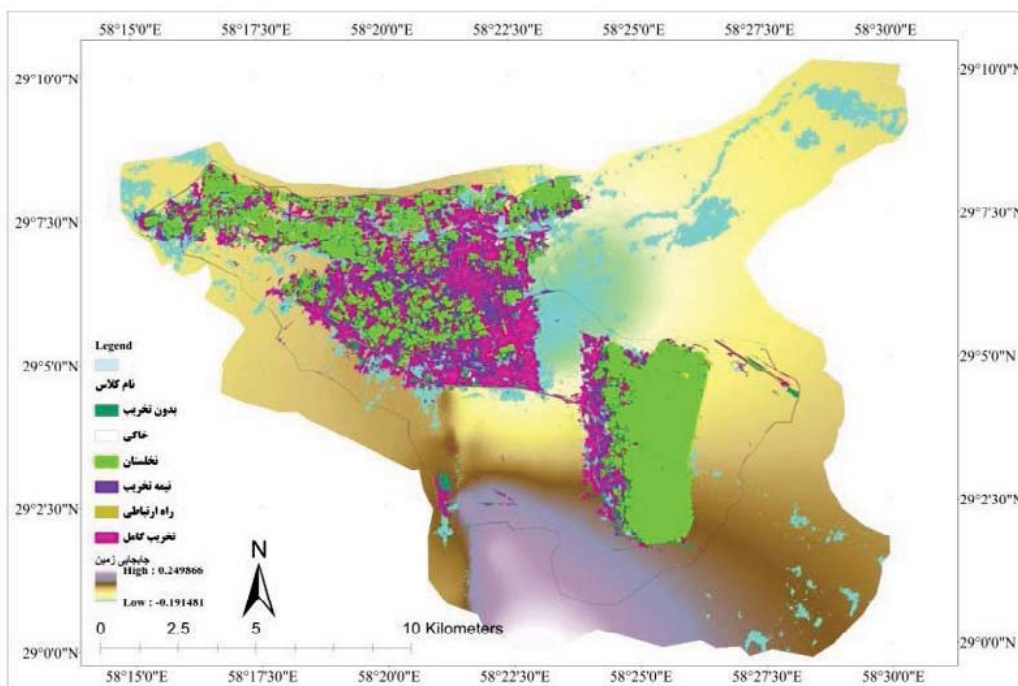
ویژگی‌های مربوط به اطلاعات طیفی و ویژگی هندسی کلاس‌ها در طی فرایند پردازش تصویر، می‌توان از عملگرهای منطق فازی از جمله And و Or استفاده کرد [۲۶].

در نهایت با انطباق نقشه‌ی ساختمان‌های تخریبی و جابه‌جایی سطح زمین، میزان جابه‌جایی حاصل شده از زلزله و تخریب ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفت که ساختمان‌های تخریب شده با حداکثر میزان جابه‌جایی انطباق داشته است (تصویر ۹ و ۱۰ و جدول ۲). همچنین ساخت و سازهای بیم بر روی سازندهای با مقاومت کم احداث شده‌اند. در تصاویر ۱۱ و ۱۲ میزان اثرپذیری سازندها از جابه‌جایی سطح زمین ارائه گردیده است.

امروزه نقش سازندها در تشدید و تداوم و یا کاهش امواج زمین‌لرزه به اثبات رسیده است. به‌طور کلی برای تخمین آثار ناشی از تغییر سازندهای مختلف زمین‌شناسی بر شدت زلزله می‌توان از زمین‌شناسی سطحی استفاده کرد. این عامل در پهنه‌بندی خطرات زلزله به‌منزله‌ی یک فاکتور مهم مورد نظر است. پس از زمین‌لرزه‌ی ۱۹۸۶ مکزیک به نقش سازندهای زمین‌شناسی بیشتر توجه شده است. رسوبات نرم عموماً بیشتر از سنگ‌های سخت، دامنه‌ی ارتعاشات را زیاد می‌کند. مواد تشکیل‌دهنده‌ی زمین همچون سنگ بستر، ماسه، ریگ، سیلت و گل و لای در مقابل امواج زلزله واکنش‌های متفاوتی دارند؛ برای مثال میزان لرزش در رسوبات جدا ممکن است بسیار شدیدتر از سنگ بستر باشد. با استناد به نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی بیم ملاحظه می‌شود که شهرهای بیم و بروات هر دو روی مخروطه افکنه‌های سیلتی و ماسه سنگ‌های آریلی بنا شده‌اند؛ یعنی رسوبات سیلتی که نقش زیادی در تشدید امواج دارند و این موضوعی است که کمتر به آن اشاره می‌شود. دامنه‌ی وسیع تخریب ساختمان‌ها در برابر زمین‌لرزه‌ای با بزرگای گشتاوری ۶٫۶ تعجب همگان را برانگیخته و این موضوع را



تصویر ۹: انطباق ساختمان‌های تخریب شده با نتیجه اپراتور AND و جابه‌جایی سطح زمین



تصویر ۱۰: انطباق ساختمان‌های تخریب شده با نتیجه اپراتور OR و جابه‌جایی سطح زمین

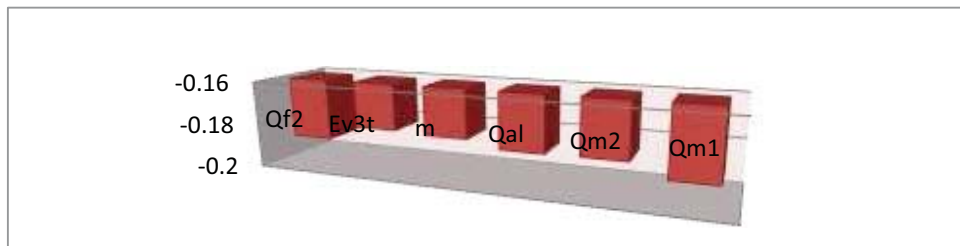
نتیجه‌گیری

در این تحقیق میزان جابه‌جایی در اثر زمین‌لرزه و همچنین تأثیرپذیری سازندهای تشکیل‌دهنده‌ی منطقه‌ی بیم مورد بررسی را قرار گرفت و نتایج حاصله میزان جابه‌جایی در سطح منطقه را نشان داد که بیشترین میزان تأثیرپذیری مربوط به سازندهای تشکیل‌دهنده‌ی منطقه‌ی شهری بود.

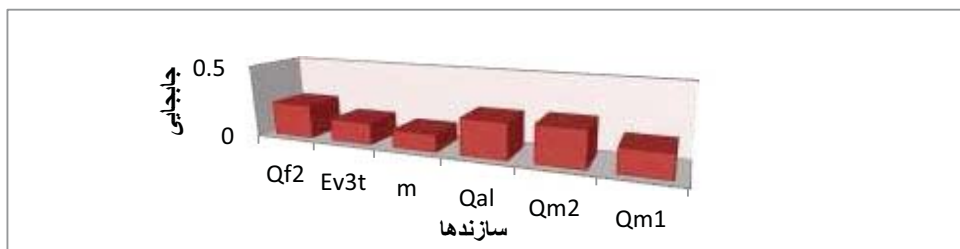
بیشتر به ضعف ساخت و سازها نسبت داده‌اند؛ در حالی‌که با توجه به پی سنگ شهرهای بیم و بروات، می‌توان وسعت خرابی‌ها و خسارات به‌وجود آمده را ناشی از تشدید امواج در رسوبات منفصل منطقه دانست که شدت امواج را به مرحله‌ی تخریب کامل رسانده است. این موضوع قبل از هر چیز نیازمند بررسی‌های دقیق‌تر است و در تجدید بنای بیم باید آن را مدنظر قرار داد [۲۳].

جدول ۲: نتیجه‌ی اپراتورهای AND و OR

اپراتور	عوارض	مساحت (مترمربع)	فرونشینی (متر)	بالآمدگی (متر)	صحت کلی طبقه بندی	ضریب کاپا
AND	تخریب کامل	۲۰۷۰۲۵۶۰	-۰,۱۸۴۷۷۰	۰,۱۳۲۹۳۱	۰,۹۳	٪۹۲
	نیمه تخریب	۵۲۲۹۴۱۶	-۰,۰۹۵۳۱۷	۰,۱۲۱۵۱۶		
	تخریب کم	۲۳۹۴۱۴۱	-۰,۰۱۲۸۴۶	۰,۱۲۸۴۲۳		
	راه‌های ارتباطی	۷۴۳۹۴۱۳	-۰,۱۸۵۰۵۲	۰,۱۴۳۱۰۲		
	نخلستان	۲۹۹۱۹۸۷۱	-۰,۱۷۱۷۴۹	۰,۱۲۴۱۸۷		
	خاکی	۷۳۶۵۵۷۴۲	-۰,۱۹۱۴۸۱	۰,۱۶۹۰۵۶		
OR	تخریب کامل	۲۰۵۷۰۷۸۶	-۰,۱۸۸۱۱۳	۰,۱۵۹۵۳۷	۰,۹۸	٪۹۶
	نیمه تخریب	۸۴۶۶۷۵۴	-۰,۰۹۸۰۴۳	۰,۰۹۰۷۷۳		
	تخریب کم	۲۷۰۸۹۱۰	-۰,۰۱۳۳۹۱	۰,۱۴۹۸۱۹		
	راه‌های ارتباطی	۱۰۰۲۸۶۹	-۰,۱۸۵۴۵۵	۰,۰۷۶۵۶۸		
	نخلستان	۳۰۱۱۲۰۳۵	-۰,۱۶۷۵۲۷	۰,۰۸۸۰۷۹		
	خاکی	۷۶۵۱۹۰۰۴	-۰,۱۹۱۴۸۱	۰,۱۷۰۱۱۸		



تصویر ۱۱: نمودار واکنش سازندها به جابه جایی (فرونشینی)



تصویر ۱۲: نمودار واکنش سازندها به جابه جایی (بالآمدگی)

الگوریتم فازی شیء‌گرا به صورت ابزار مهم برای کاربران علوم زمین درآمده است. استفاده از این تکنیک‌ها مدیریت و برنامه‌ریزی را برای کنترل مخاطرات محیطی راحت‌تر کرده و راه‌حل‌های مناسبی را برای مدیریت و شناسایی مناطق حساس به مخاطره در اختیار متخصصان علوم زمین قرار می‌دهد.

پی‌نوشت

1. Optic
2. Envisat
3. Fusion
4. High Pass Filter Resolution Merge
5. Aster
6. Fuzzy object-based algorithm
7. Synthetic aperture radar

همچنین تکنیک فازی شیء‌گرا از تکنیک‌های جدید برای شناسایی و استخراج ساختمان‌های تخریب شده به صورت خودکار در اثر وقوع مخاطراتی مانند زلزله به حساب می‌آید. که در این تحقیق، دو عملگر Or و And برای استخراج ساختمان‌های تخریب شده اعمال شد. با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین میزان دقت در استخراج ساختمان‌های تخریب شده‌ی شهر بم مربوط به عملگر Or و سپس عملگر And است. همچنین ساختمان‌های تخریبی به صورت کامل، بر روی سازندهایی واقع شده‌اند که دارای بیشترین میزان تأثیرپذیری از جابه‌جایی سطح زمین در اثر زلزله بودند که نشان‌دهنده‌ی ارتباط بین جابه‌جایی سطح و تأثیرپذیری سازندها با میزان تخریب وارده به ساختمان‌ها است. در طول چند دهه‌ی اخیر به‌کارگیری تکنیک‌های نوین سنجش از دوری، مانند تکنیک‌های سنجش از دوری راداری و

مخاطرات زمین ساختی. دومین کنفرانس بین المللی مخاطرات محیطی، ۲. سعادت فر، احسان، دهقانی، مریم؛ اسماعیلی، علی؛ زمانی قره چمنی، بهزاد (۱۳۹۳). بررسی جابه جایی پیش لرز گسل اهر- ورزقان با استفاده از سری زمانی تداخل سنجی راداری. *مجله علمی پژوهشی رادار*، سال ۲، شماره ۲، ۱۱-۲۰.

۱۲. منصوری، بابک؛ مصطفی زاده، مونا (۱۳۹۴). استخراج شیء‌گرایی ساختمان‌ها از تصاویر ماهواره‌ای VHR و آشکارسازی تخریب لرزه‌ای آن‌ها بر مبنای آنالیز بافتی و استفاده از شبکه‌ی عصبی. *علوم و مهندسی زلزله*، سال دوم، شماره ۱ اول، ۵۵-۶۵.

13. Massonet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K. and Rabaute, T., (1993). The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature*, 364, pp. 138-142.

14. Ohkura, H, (1998). Application OF SAR Data To Monitoring Earth Surface Chenges And Displacement, *ElsctvieSr ciencia*, pp. 485-492.

15. Stasolla, M., Gamba, P., Dell'Acqua, F., & Rathje, E. (2006). Matching spectral with spatial analysis to improve building damage recognition in VHR images. Cambridge, UK, Magdalene College.

16. Qiang, Sh., Xuejun, Q., Qi, W., jingfa, Zh., Kai, T., Shaomin, Y., (2011). Co-seismic deformation of the 2010 Mw6. 9 Yushu earthquake from InSAR images, *Geodesy and Geodynamics*, 16-20.

۱۷. واجدیان، ساناز؛ خالصیان، مینا؛ سراجیان، محمد رضا (۱۳۸۸). تحلیل و ارزیابی تخریب ناشی از زلزله با استفاده از تکنولوژی تصویربرداری راداری با درجه‌ی مصنوعی (SAR). *ژئوماتیک* ۱۳۸۸.

18. Fu, B., Ninomiya, Y., Lei, X., Toda., Sh., Awata. Y. (2003). mapping active fault associated with the MW 6.6 Bam (SE Iran) earthquake with Aster 3D images. *remote sensing of environment*, vol. 92, PP: 153-157.

۱۹. دیده بان، خلیل (۱۳۹۵). کاربرد تکنیک‌های تداخل سنجی راداری و فازی شیء‌گر در بررسی تغییرات سطح زمین پس از وقوع زمین‌لرزه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، تبریز.

۲۰. مقصودی، یاسر؛ مهدوی، ساحل (۱۳۹۴). مبنای سنجش از دور راداری. چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف تهران، تهران.

21. Hanssen, R.F., 2001. Radar interferometry: data interpretation and error analysis. *Springer*

۲۲. پناهی، حسین (۱۳۹۵). راهنمای کاربردی ENVI۴٫۸ با گذری بر ArcGis ۱۰٫۱. انتشارات دانشگاه آزاد یزد، یزد.

۲۳. علوی پناه، سیدکاظم؛ قربانی، محمد صدیق (۱۳۸۶). نقش سنجش از دور و بررسی‌های میدانی در تجزیه و تحلیل‌های مورفوتکتونیک: مطالعه‌ی موردی زلزله بم. *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۱، ۶۰-۱۵-۲۹.

۲۴. رسولی، علی اکبر (۱۳۸۷). مبنای سنجش از دور کاربردی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.

25. (Reference Book, ecognition)

8. Doris

9. Sta MPS

10. Geography Information System

11. Single look

12. Base Line

13. Interferometry

14. Coherency

15. Adoptive

16. Phase unwrapping and Refinement - Reflating

17. Radians

18. Ecognition

19. Multi Resolution Segmentation

20. Brightness

21. Length and Width

22. Compactness

23. Rectangular

24. Index Shape

25. GLC Entropy

منابع

1. Bello, O. M., Aina, Y. A., (2014). satellite remote sensing as a tool in disaster management and sustainable development: towards a synergistic approach. *Th3rd international geographi symposium - GEOMED 2013*, 365-373

۲. اوزی، رمضان؛ ظاهری، محمد (۱۳۹۰). *جغرافیای مخاطرات*. چاپ اول، تبریز، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.

۳. شیعه، اسماعیل؛ حبیبی، کیومرث؛ ترابی، کمال (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله مطالعه‌ی موردی منطقه‌ی ۶ شهرداری تهران - GIS و IHWP) مراتبی معکوس. *چهارمین کنگره‌ی جغرافیادانان جهان اسلام*، ۱-۱۲.

4. Tralli, D. M., Blom, R. G., Zlotnicki, V., Donnellan, A., Evans, D. I. (2005). Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 59, 185- 198.

5. Gong, M., Li, H., Wang, Q, Liu, J., Su, L. (2016). A multiobjective fuzzy clustering method for change detection in SAR images. *Applied Soft Computing*, 767-777.

۶. رهنمون فر، مریم؛ سراجیان، محمد؛ توکلی، احد؛ رحمتی، محمد (۱۳۸۴). استفاده از روش تداخل سنجی راداری در مطالعه زلزله بم و زلزله‌ی از میت ترکیه. *همایش ژئوماتیک ۱۳۸۴*، دوره ۲۴.

۷. حیدری، رامک (۱۳۸۴). کاربرد رادار در پیش‌نشانگر زلزله با استفاده از تکنیک اینترفرومتری در تحلیل زلزله‌ی بم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران.

۸. معماریان، حسین؛ زارع، مهدی؛ میبدیان، مجید (۱۳۸۸). گسل‌ها و شکستگی‌های ناشی از زمین‌لرزه‌ی بم. *نشریه‌ی زمین*، شماره ۳، دوره ۴، ۶۷-۸۲.

۹. شریفی کیا، محمد (۱۳۸۹). تحلیل تغییرات سطح پوسته‌ی زمین حاصل از پدیده زلزله به کمک تکنیک‌های سنجش از دوری. *چهارمین کنگره بین المللی جغرافیادانان جهان اسلام*.

۱۰. درویشی، مهدی؛ احمدی توانا، غلامرضا (۱۳۹۲). کاربرد تکنیک تداخل سنجی (Dinsar) در آشکارسازی تغییرات جابه‌جایی سطحی در حوزه