

بررسی کارآمدی روش‌های شیء‌پایه پردازش تصاویر رقومی هوایی در شناسایی مناطق آسیب‌دیده زلزله شهرستان ورزقان

گلزار عینالی

کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه تبریز، ایران

بختیار فیضی‌زاده*

استادیار و عضو هیأت علمی گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه تبریز، ایران

محمدحسین رضایی مقدم

استاد و عضو هیأت علمی گروه ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۶/۱۸ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۶/۱۰/۱۰)

چکیده

فناوری سنجش از دور در مدیریت بحران به‌عنوان یک فناوری مهم برای جمع‌آوری اطلاعات در یک فاجعه در مقیاس بزرگ شناخته می‌شود در این زمینه، آشکارسازی میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری پس از زلزله و برآورد سریع نسبت تخریب برای فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز تیم‌های امداد و نجات، از مهم‌ترین اصول مدیریت بحران محسوب می‌شود. در این تحقیق به بررسی کارایی روش‌های پردازش شیء‌گرا در شناسایی برآورد تأثیرات تخریبی زلزله با استفاده از عکس‌های هوایی رقومی پرداخته شد و کارایی این روش‌ها برای ارائه روش نیمه‌اتوماتیک به‌منظور استخراج سریع نسبت تخریب حادث‌شده در زلزله شهرستان ورزقان ارزیابی شد. برای این منظور از تصاویر رقومی تهیه‌شده توسط سازمان نقشه‌برداری پس از وقوع زلزله استفاده شد. پس از آماده‌سازی عکس‌های هوایی رقومی، به سگمنت‌سازی پرداخته شده و تصاویر با روش Multiresolution سگمنت‌سازی شد. در ادامه با شناسایی روش‌های مناسب شیء‌پایه، ۱۱ الگوریتم از روش‌های طیفی، هندسی، ژئومتری و محیطی استفاده شده و مناطق تخریب‌شده شناسایی شد. در مرحله بعد، نتایج الگوریتم‌ها مقایسه و صحت‌سنجی شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در مقیاس بافر ۵ متر، تمامی الگوریتم‌های استفاده‌شده صحت بیش از ۹۰ درصد دارند و می‌توانند مناطق تخریب‌شده را شناسایی کنند. این در حالی است که در مقیاس بافر ۱۰ متر الگوریتم‌های ضریب روشنایی و فشردگی با ۹۳/۰۳، اشکال منظم هندسی و ضریب گردشگی با ۹۶/۰۷ درصد و ضریب بیضوی با ۹۲/۱۵ درصد بیشترین کارایی را دارند. نتایج این تحقیق در زمینه به‌کارگیری انواع الگوریتم‌های طیفی، مکانی و ژئومتری برای ارائه روشی نیمه‌اتوماتیک در شناسایی مناطق تخریب‌شده پس از وقوع زلزله و شناسایی کارآمدترین آنها اهمیت زیادی دارد و می‌تواند راهگشای تحقیقات آتی در این زمینه باشد.

واژه‌های کلیدی: برآورد اثرهای تخریبی زلزله، پردازش شیء‌پایه تصاویر ماهواره‌ای، شهر ورزقان.

مقدمه

زلزله از مهم‌ترین مخاطراتی است که هر ساله خسارات زیادی را در پی دارد. این مخاطره طبیعی، بیش از ۳۵ کشور جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در مجموع بیش از هر خطر طبیعی دیگری خسارت‌های جانی و مالی ایجاد می‌کند [۵]. ایران به دلیل واقع شدن شهرهای پرجمعیت بر روی گسل، از جمله کشورهای مستعد زلزله به‌شمار می‌رود. به‌طور میانگین در ایران هر هفت سال یک زلزله شدید همراه با خسارت جانی و مالی روی می‌دهد [۳]. با توجه به رشد سریع و اجتناب‌ناپذیر شهرنشینی در سال‌های اخیر، در پیش گرفتن راهبردهای کاهش آسیب، به‌ویژه در مناطق گسلی و آسیب‌پذیر ضروری است [۲۷]. در زمینه اجرای برنامه مدیریت بحران و کاهش خسارات ناشی از زلزله، بدیهی است که اطلاع‌رسانی در مرحله وقوع بحران و ارزیابی سریع و دقیق ساختمان‌های آسیب‌دیده، به‌خصوص در ساعات اولیه اهمیت تعیین‌کننده‌ای در روند مدیریت بحران و بهینه‌سازی جست‌وجو و نجات شهری خواهد داشت [۱۸، ۱۵، ۱]. در راستای دستیابی به چنین اطلاعات مهمی، فناوری سنجش از دور می‌تواند نقش بسیار مؤثری در دسترسی به چنین اطلاعاتی فراهم آورد. ارزیابی آسیب ناشی از زلزله برای واکنش‌های اضطراری سریع و دقیق و عملیات نجات پس از رخداد بسیار مهم است و اهمیت زیادی در شناسایی مناطق تخریب‌شده و بسیار مهم دارد [۳۱]. برآورد منطقه و میزان آسیب، میزان فروریزش ساختمان‌ها، درجه آسیب در مناطق آسیب‌دیده، و نوع آسیب واردشده توسط هر ساختمان، اطلاعات ضروری برای نجات موفق و بازسازی در مناطق فاجعه است [۲۹]. در حال حاضر فناوری سنجش از دور، روش کارآمدی برای به‌دست آوردن اطلاعات از ساختمان‌های آسیب‌دیده در فواصل زمانی کوتاه، با هزینه کم و میدان دید وسیع در مناطق شهری است که به‌طور گسترده برای ارزیابی خسارت زلزله و نظارت بر ساختمان‌های آسیب‌دیده کاربرد دارد [۲۶، ۲۳، ۱۲] و اطلاعات دقیقی برای پایش دسترسی و ورود مجدد به مناطق آسیب‌دیده، آواربرداری، ترمیم تأسیسات و تعمیر خطوط حیاتی و تفتیش و بازرسی تخریب ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها در نواحی آسیب‌دیده در اختیار مسئولان قرار می‌دهد. استفاده از روش‌های پردازش شیء‌پایه در پردازش تصاویر سنجش از دور برای شناسایی مناطق تخریب‌شده طی زلزله کارآمد خواهد بود. تغییرات در شکل، اندازه، نسبت روشنایی و بافت تصویر و تغییرات ژئومتری ناشی از زلزله در ساختمان‌ها تأثیر مهمی در شناسایی نسبت تخریب از تصاویر سنجش از دور دارد که از طریق روش‌های پردازش شیء‌پایه قابل حصول‌اند.

در سال‌های اخیر روش‌هایی برای ارزیابی خسارت زلزله توسعه یافته‌اند؛ این روش‌ها را می‌توان به دو گروه اصلی دسته‌بندی کرد:

الف) روش‌های چندزمانه تشخیص تغییرات با استفاده از داده قبل و بعد از رویداد که افرادی مانند لی و همکاران (۲۰۰۹)، تشخیص تخریب ساختمان‌ها با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک زیاد در منطقه دوجانین در چین [۱۹]، دووان و همکاران (۲۰۱۰)، شناسایی اتوماتیک ساختمان‌های تخریب‌شده براساس تغییرات بافت در ونچوان [۱۴]، کرک و کرل (۲۰۱۱)، پورتوپرنس در هائیتی [۱۷]، سینگال و رادهیکا (۲۰۱۴)، آشکارسازی خودکار ساختمان‌ها از عکس هوایی در ساروماچو در ژاپن [۲۸]، متکان و همکاران (۱۳۹۲)، شناسایی ساختمان‌های تخریب‌شده بر اثر زلزله و تهیه نقشه تخریب بر اثر زلزله در شهر پورتوپرنس در هائیتی [۶]، منصوری و مصطفی‌زاده (۱۳۹۴)، استخراج شیء‌گرای ساختمان‌ها از تصویر ماهواره‌ای VHR و آشکارسازی تخریب زلزله‌ای آنها بر مبنای آنالیز بافتی و استفاده از شبکه عصبی در زلزله بم [۷] مطالعاتی را انجام دادند. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که اگرچه تعیین درجه آسیب‌پذیری دقیق یک ساختمان با استفاده از یک تصویر با قدرت تفکیک زیاد پس از رخداد زلزله به‌سختی امکان‌پذیر است، استفاده از آنها برای ارزیابی سریع خسارت مفید است [۱۳]؛

ب) روش‌های تک‌زمانی که فقط تفسیر داده‌ها پس از رویداد است؛ از جمله مندرس و همکاران (۲۰۱۵)، تشخیص خودکار ساختمان‌های آسیب‌دیده پس از زلزله با استفاده از سنجش از دور در وان [۲۳]، توی و همکاران (۲۰۰۵)، تجزیه و تحلیل تصویر مبتنی بر شیء‌گرا، برای ارزیابی خسارت زلزله [۲۹]، ما و شین (۲۰۱۲)، آشکارسازی ساختمان‌های فروریخته با استفاده از الگوریتم آشکارسازی اتوماتیک در زلزله ونچوان و زلزله یوشو در چین [۲۰]، یامازاکی و همکاران (۲۰۱۳)، تشخیص تخریب ساختمان‌ها بر اثر زلزله با استفاده از تصاویر راداری در توهوکو [۳۳]، تانگ و همکاران (در سال ۲۰۱۲)، تشخیص آسیب ساختمان‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استریو در زلزله ونچوان [۳۰]، رضاییان (۲۰۱۲)، تشخیص آسیب ساختمان‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استریو در زلزله کوبه و بم [۲۵]، دونگ و شان (۲۰۱۳)، آشکارسازی آسیب ساختمان‌ها ناشی از زلزله با روش‌های سنجش از دور [۱۳]، رنجبر و همکاران (۱۳۹۳)، استخراج ساختمان‌ها براساس آنالیز بافت از تصاویر ماهواره‌ای ورزقان [۳]، نمونه‌هایی از این پژوهش‌هاست.

منطقه تحقیق

شهرستان ورزقان یکی از شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی است که مرکز آن شهر ورزقان است. جمعیت این شهرستان براساس سرشماری سال ۱۳۸۵، برابر با ۴۸۱۱۲ نفر بود که ۴۰۸۸ نفر یعنی ۸/۵ درصد در مرکز شهرستان ساکن‌اند. در این تحقیق خسارات ناشی از زلزله در ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ ارزیابی شده است. در این تاریخ دو زلزله با فاصله کم و به قدرت ۶/۴ و ۶/۳ ریشتر

در ۶۰ کیلومتری شمال شرق تبریز رخ داد که سبب جان باختن ۳۲۷ تن از ساکنان، نابودی شدید بیش از ۲۰ روستا و بسیاری از ساختمان‌ها در دو شهرستان اهر و ورزقان شد [۲۴]. در تحقیق حاضر از الگوهای شیء پایه برای شناسایی تأثیرات تخریبی ناشی از زلزله مذکور استفاده شده است. برای این تحقیق از تصاویر رقومی هوایی با تفکیک مکانی زیاد بر مبنای روش‌های پردازش شیء پایه استفاده شده است. در این تحقیق انواع روش‌های پردازش شیء پایه تصاویر ماهواره‌ای آزمون شده و مهم‌ترین شاخص‌های مکانی، ژئومتری و طیفی در شناسایی مناطق تخریب شده معرفی شده است.

داده‌های استفاده شده و روش تحقیق

داده‌های استفاده شده در این پژوهش شامل ۹ فریم عکس هوایی رقومی (Ultra Cam) که پس از زلزله مربوط به تاریخ ۱۳۹۱/۰۶/۱۶ در قالب Tif که توسط سازمان نقشه برداری تهیه شده است، این تصاویر در حدود ۷۰۰ مگابایت حجم دارند و در ابعاد ۷۵۰۰ در ۱۱۵۰۰ پیکسل هستند و قدرت تفکیک ۲۰ سانتی متری دارند. تک تک فریم‌های عکس با استفاده از داده‌های GPS که از تقاطع خیابان‌ها و کاربری‌های مشخص در تصویر تهیه شده بود، ژئورفرنس شده و سپس با همدیگر موزاییک شد.

پردازش شیء پایه

پردازش شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای، روشی کاربردی در پردازش تصاویر دیجیتالی است که به تازگی در مقابل آنالیز پیکسل پایه توسعه داده شده است [۹]. تجزیه و تحلیل شیء‌گرایی به‌طور فزاینده‌ای به منظور تحلیل تصاویر با وضوح زیاد برای تشخیص تغییر در محیط‌های ناهمگن شهری به کار گرفته می‌شود. در این روش علاوه بر اطلاعات طیفی از اطلاعات متنی برای بهبود دقت نقشه و کارایی محاسباتی استفاده می‌شود [۳۱، ۳۲]. این روش، شیء یا گروه همگنی از پیکسل‌ها را به عنوان واحد اصلی پردازش در نظر می‌گیرد، و نیز همزمان علاوه بر ویژگی‌های طیفی، ویژگی‌های غیرطیفی اشیا مثل شکل، بافت، هندسی، الگو و ارتباطات با اشیای همسایه را نیز شامل می‌شود [۱۱، ۱۶]؛ به عبارتی روش شیء مبنا می‌تواند از همان ویژگی‌هایی استفاده کند که توسط چشم انسان نیز قابل مشاهده و درک است. به همین دلیل خروجی این روش‌ها بهتر نمایش دهنده واقعیت اشیا و پدیده‌های جهان است [۱۰]. عملیات شیء‌گرایی روی یک تصویر به‌طور معمول شامل سه مرحله است: تولید اشیای تصویری با استفاده از الگوریتم تقسیم‌بندی تصویر؛ استخراج معیارهای مبتنی بر شیء؛ و طبقه‌بندی با استفاده از معیارهای مبتنی بر شیء [۸]. در فرایند طبقه‌بندی مبتنی بر شیء، گزینه‌های بسیاری از جمله نوع تصویر، روش

تقسیم‌بندی، ارزیابی دقت، الگوریتم طبقه‌بندی، مجموعه نمونه‌های آموزشی، ویژگی‌های ورودی و کلاس‌های هدف باید ارزیابی شود [۲۲].

مراحل پردازش شیء‌پایه

سگمنت‌سازی

سگمنت به معنای گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است که شباهت (نظیر ارزش عددی و بافت) مهم‌ترین معیار مشترک آنهاست. در پردازش شیء‌گرا از تصاویر، اشیاء به وسیله گروهی از پیکسل‌ها مطابق با معیار همگنی و ناهمگنی شکل می‌گیرند که مهم‌ترین فرایند در پردازش شیء‌گرای تصاویر محسوب می‌شود [۴]. در این فرایند، ویژگی‌های حاصل از پدیده‌های اولیه و پدیده‌های احتمالی، براساس شکل، اندازه، رنگ و توپولوژی پیکسل، مجموعه پارامترهای تأثیرگذار در قطعه‌بندی است که توسط کاربر تعیین و تنظیم می‌شود. مقدار هر پارامتر، میزان تأثیر ویژگی‌های طیفی و مکانی لایه‌های تصویر را که در تعریف شکل و اندازه پدیده‌ها مؤثرند، تعیین می‌کند [۲]. در این پژوهش برای سگمنت‌سازی تصاویر هوایی منطقه، از بین روش‌های موجود در نرم‌افزار، روش سگمنت‌سازی Multiresolution به کار گرفته شد. در این زمینه، برای وزن لایه‌ها عدد ۱ در نظر گرفته شد، برای ضریب فشردگی ۰/۵ و برای ضریب شکل ۰/۱ اعمال شد. برای اندازه سگمنت‌سازی دو مقیاس ۶۰ و ۱۰۰ در نظر گرفته شد.

انتخاب الگوریتم‌های مناسب برای شناسایی نسبت تخریب

انتخاب ویژگی‌ها گام مهمی در فرایند طبقه‌بندی محسوب می‌شود، عملکرد طبقه‌بندی را بهبود می‌بخشد و پیچیدگی محاسبات را با حذف اطلاعات اضافی کاهش می‌دهد [۲۱]. استفاده تلفیقی از اطلاعات طیفی و مکانی، امکان استفاده از انواع الگوریتم‌های شیء‌گرا در ارتباط با مدلسازی‌های سطح زمین را فراهم می‌آورد. به منظور انتخاب روش مناسب برای استخراج ساختمان‌های تخریب‌شده بر اثر زلزله، از الگوریتم‌های مختلفی استفاده شده است. در این فرایند برای کاهش اختلاط کلاس‌های مختلف موجود در تصاویر هوایی منطقه مطالعاتی و افزایش دقت طبقه‌بندی، علاوه بر اطلاعات طیفی و بصری شامل بافت، شکل و تن رنگ و ... از پارامترهای تأثیرگذار دیگری نظیر ضریب روشنایی، حداکثر تفاوت و ... برای استخراج بهینه ساختمان‌های تخریب‌شده استفاده شده است. نرم‌افزار eCognition امکان استخراج درجه عضویت هر شیء تصویری را در الگوریتم‌های مختلف را داراست و شیء‌های تصویری دارای بیشترین درجه عضویت در هر کلاس را در طبقه‌بندی دخالت می‌دهد. بنابراین، در این پژوهش، ۱۱ الگوریتم مؤثر در استخراج ساختمان‌های تخریبی

تحلیل شده و آستانه‌های آن استخراج شده است. جدول ۱ فهرست الگوریتم‌های مورد استفاده برای شناسایی مناطق تخریب‌شده بر اثر زلزله را نشان می‌دهد. در بخش‌های زیر نظیر نحوه محاسبه هر الگوریتم و اجرای آن ارائه شده است. شکل یک نیز نتایج اجرای هر یک از شاخص‌ها را در سطح تصویر نشان می‌دهد.

جدول ۱. جدول الگوریتم‌های بررسی شده در پژوهش

شاخص‌ها	نام الگوریتم
Brightness	Mean
Max.diff	
Standard Deviation	Mode
Asymmetry	
Border index	Shape
Compactnes	
Density	
Elliptic Fit	
Rectangular Fit	
Roundness	
Shape index	

ضریب روشنایی

شاخص ضریب روشنایی از اطلاعات طیفی تصویر برای استخراج اطلاعات استفاده می‌کند. این شاخص با استفاده از رابطه ۱ مقادیر مشخصی را برای هر سگمنت محاسبه می‌کند. در مناطق آسیب‌دیده بر اثر زلزله، اشیایی نظیر لوازم خانه یا حتی مصالح ساختمانی نظیر گچ در منطقه وجود داشت؛ بنابراین مقایسه ضریب روشنایی در سگمنت‌های مناطق تخریب‌شده نسبت به قبل از تخریب بیانگر افزایش چشمگیر ضریب این شاخص است. از این‌رو برای اجرای این شاخص، ضریب روشنایی در مناطق تخریب‌شده اندازه‌گیری شد و مشخص شد که مناطقی با مقادیر ۹۷ تا ۱۹۶ نشان‌دهنده سطوح تخریب‌اند. شکل ۲ الف، مناطق تخریبی استخراج‌شده با استفاده از این شاخص را نشان می‌دهد.

$$\bar{C}(V) = \sum_{k=1}^K \binom{n}{k} W_k^B \bar{C}_k(V) \quad (1)$$

W_K^B : مجموع وزن‌های ضریب روشنایی لایه‌های تصویر k با $W_K^B = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$ ؛ K: تعداد لایه‌های

تصویر k استفاده‌شده برای محاسبه؛ W^B : مجموع وزن‌های روشنایی از تمام لایه‌های تصویر k

برای محاسبه با استفاده از $W^B = \sum_{k=1}^K W_k^B$ ؛ $\bar{C}_k(V)$: میانگین شدت لایه تصویر k از شیء تصویر

؛ C_k^{min} : تاریک‌ترین مقدار ممکن در لایه تصویر k ؛ و C_k^{max} : روشن‌ترین مقدار ممکن در لایه تصویر k است.

شاخص حداکثر تفاوت

این شاخص یک شاخص طیفی است که از رابطه ۲ استفاده می‌کند. ارزش ویژگی‌های اختصاص یافته در این شاخص بر اشیا تصویر بین ۰ و ۱ هستند، مقادیر اختصاص یافته به شیء‌های تصویری در شکل ۱ ب، نشان داده شده است؛ مقادیر این شاخص برای ساختمان‌های تخریبی بزرگ‌تر از ۰/۰۵۴ و کوچک‌تر از ۰/۱۳ است. پراکنش مکانی ساختمان‌های تخریبی استخراج شده با استفاده از این شاخص در شکل ۲ ب نشان داده شده است.

$$\frac{\max_{i,j \in K_B} |\bar{c}_i(v) - \bar{c}_j(v)|}{\bar{c}(v)} \quad (2)$$

۱. لایه‌های تصویر؛ $\bar{c}(v)$: روشنایی اشیا تصویر؛ $\bar{c}_i(v)$: میانگین شدت لایه تصویر i از شیء تصویر v ؛ $\bar{c}_j(v)$: میانگین شدت لایه تصویر j از شیء تصویر v ؛ C_k^{max} : شدت روشنایی لایه تصویر از شیء تصویر k و K_B : لایه‌های تصویر از وزن روشنایی مثبت است که در آن w_k وزن لایه تصویر است.

شاخص انحراف معیار

شاخص انحراف معیار، مقادیر شدت لایه تصویر تمام پیکسل‌های تشکیل دهنده یک شیء را با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌کند. شکل ۱ پ، مقادیر اختصاص یافته توسط این شاخص به هر شیء تصویری و شکل ۲ پ موقعیت و پراکنش مکانی مناطق تخریبی استخراج شده با استفاده از این شاخص را نشان می‌دهد.

$$\sigma_{k(v)=\sigma_k}(P_v) = \sqrt{\frac{1}{\#P_v} \left(\sum_{(x,y,z,t) \in P_v} C_k^v(x,y,z,t) - \frac{1}{\#P_v} \left(\sum_{(x,y,z,t) \in P_v} C_k(x,y,z,t) \right) \right)} \quad (3)$$

$\sigma_k(v)$: انحراف معیار میزان شدت لایه تصویر k از تمام پیکسل‌هایی است که یک شیء تصویری v را تشکیل می‌دهند؛ P_v : مجموعه‌ای از پیکسل یک شیء تصویری v ؛ $\#P_v$: تعداد کل پیکسل موجود در P_v ؛ (x,y,z,t) : مختصات پیکسل؛ $C_k(x,y,z,t)$: مقدار شدت لایه تصویر در پیکسل (x,y,z,t) ؛ و C_k^{range} : محدوده داده‌ای از لایه تصویر k با C است.

شاخص عدم تقارن

شاخص عدم تقارن، طول نسبی شیء تصویر در مقایسه با یک چندضلعی منظم را توصیف می‌کند. در این شاخص از رابطه ۴ استفاده می‌شود. مقادیری که در این شاخص به اشیای تصویری اختصاص داده می‌شود همان‌طور که در شکل ۱ ت نمایش داده شده است، مقادیری بین ۰ و ۱ است، به طوری که ارزش مقادیر اشیایی که تقارن ندارند افزایش می‌یابد. با توجه به مقادیر اختصاص یافته به اشیای تصویری مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۶۴ و کوچک‌تر از ۰/۸۶ به ساختمان‌های تخریبی اختصاص یافته است. شکل ۲، پراکنش ساختمان‌های تخریبی استخراج شده را نشان می‌دهد.

$$\frac{\sqrt{\frac{1}{4}(\text{Var}X + \text{Var}Y)^2 + (\text{Var}XY)^2 - \text{Var}X \cdot \text{Var}Y}}{\text{Var}X + \text{Var}Y} \quad (4)$$

Var X: واریانس X؛ Var Y: واریانس Y

شاخص همسایگی

از ویژگی‌های این شاخص چگونگی ناهم‌واری یک شیء نسبت به شیء‌های همسایه است. به هر میزان ناهم‌واری بیشتر باشد مقادیر اختصاص یافته با اشیای تصویری بیشتر خواهد بود. شاخص همسایگی به عنوان نسبت بین طول مرز شیء تصویر و کوچک‌ترین مستطیل پیوسته محاسبه می‌شود. مقدار این شاخص بین ۱ تا بی‌نهایت است که حالت ایده‌آل آن ۱ است. با توجه به مقادیر به دست آمده با استفاده از این شاخص مقادیر بزرگ‌تر از ۴/۹۱ و کوچک‌تر از ۸ به ساختمان‌های تخریب شده اختصاص یافته است (شکل ۱ ث).

$$\frac{b_v}{2(l_v + w_v)} \quad (5)$$

b_v : طول مرز شیء تصویر؛ l_v : طول یک شیء تصویر v ؛ و w_v : عرض یک شیء تصویر v است.

ضریب فشردگی

این شاخص نسبت تراکم اشیای تصویری را توصیف می‌کند. به طوری که اشیای تصویری که متراکم‌ترند مرزشان کوچک‌تر نمایش داده می‌شود. فشردگی اشیای تصویر با استفاده از رابطه ۶ و از طریق تقسیم طول و عرض شیء بر تعداد کل پیکسل‌ها به دست می‌آید. در این معیار دامنه ارزش عوارض بین صفر و بی‌نهایت است که در حالت ایده‌آل برابر یک است. شکل ۱ ج، مقادیر اختصاص یافته بر هر شیء تصویری را در منطقه تحقیق نمایش می‌دهد؛ این مقدار برای

ساختمان‌های تخریبی بزرگ‌تر از ۲/۵۳ و کوچک‌تر از ۴/۴۷ است. شکل ۲ ج نیز نتیجه طبقه‌بندی براساس این شاخص را نشان می‌دهد.

$$\frac{4 * \pi * Area}{Perimeter^2} \quad (6)$$

Area = مساحت؛ Perimeter = محیط

تراکم

این شاخص توزیع یک پیکسل از یک شیء تصویر در فضا را توصیف می‌کند. در eCognition متراکم‌ترین شکل یک مربع است که از درجه تراکم زیادی برخوردار است. این شاخص چگالی یک شیء تصویری را با تقسیم تعدادی از پیکسل تشکیل‌دهنده آن بر شعاع تقریبی آن شیء براساس ماتریس کوواریانس و با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌کند. شکل ۱ چ، مقادیر اختصاص‌یافته به اشیای تصویر منطقه تحقیق را نمایش می‌دهد. مقادیر اختصاص‌یافته به ساختمان‌های تخریبی بزرگ‌تر از ۱/۲۴ و کوچک‌تر از ۱/۹۹ است.

$$\frac{\sqrt{\#P_v}}{1 + \sqrt{VarX + VarY}} \quad (7)$$

نسبت قطر یک جسم مربع با پیکسل‌های $\#P_v$ و $\sqrt{VarX + VarY}$: قطر

بیضی است

شاخص بیضوی

از ویژگی‌های بیضوی مناسب توصیف چگونگی تناسب یک شیء تصویر درون یک بیضی در اندازه و نسبت مشابه است، در این شاخص از رابطه ۸ استفاده می‌شود. مقادیر این شاخص بین صفر و یک است که صفر نشان‌دهنده اشیای بدون تناسب با بیضوی و ۱ نشان‌دهنده تناسب کامل با بیضوی است. شکل ۱ ح، مقادیر اختصاص‌یافته به اشیای تصویری با استفاده از این شاخص است. با توجه به این مقادیر ساختمان‌های تخریبی دارای مقادیر بین صفر و ۰/۳۲۶۲ هستند.

$$\phi = 2 \cdot \frac{\#\{(x, y) \in P_v : \varepsilon_v(x, y) \leq 1\}}{\#P_v} - 1 \quad (8)$$

$\varepsilon_v(x, y)$: فاصله بیضوی در یک پیکسل (x, y) ؛ P_v : مجموعه‌ای از پیکسل از یک شیء

تصویر v ؛ و $\#P_v$: تعداد کل پیکسل‌های موجود در P_v است.

اشکال منظم هندسی

این شاخص ویژگی منظم بودن اشیای تصویر را بیان می‌کند؛ به عبارتی شیء تصویر به یک

مستطیل از نظر اندازه و نسبت مشابه است. در این معیار عدد صفر نشان‌دهنده عدم تناسب و عدد یک نشان‌دهنده یک مستطیل کامل است. شکل ۱ خ، مقادیر اختصاص یافته به اشیای تصویری با استفاده از این معیار بوده است که این مقادیر بزرگ‌تر از $۰/۴۳۲۹$ و کوچک‌تر $۰/۶۸۲۲$ به ساختمان‌های تخریب‌شده اختصاص یافته است. در این معیار از رابطه ۹ استفاده می‌شود.

$$(9) \quad \frac{\#\{(X, Y) \in P_v : p_v(X, Y) \leq 1\}}{\#P_v}$$

$P_v(X, Y)$: فاصله بیضی در یک پیکسل

شاخص گردی

این شاخص چگونگی تشابه یک شیء تصویری به یک بیضی را توضیح می‌دهد که توسط تفاوت بیضی پیوستی با بیضی محصور محاسبه می‌شود. شعاع بزرگ‌ترین بیضی محصور از شعاع کوچک‌ترین بیضی پیوستی کم می‌شود. برای محاسبه این شاخص از رابطه ۱۰ استفاده می‌شود، مقادیر حاصل از این معادله از صفر تا بی‌نهایت است که صفر مقدار ایده‌آل است. شکل ۱ د مقادیر اختصاص یافته به هر شیء تصویری را نمایش می‌دهد و این مقادیر برای ساختمان‌های تخریب‌شده بزرگ‌تر از $۱/۸۲۳$ تا کوچک‌تر از $۲/۰۹۸$ است.

$$(10) \quad \varepsilon_v^{max} - \varepsilon_v^{min}$$

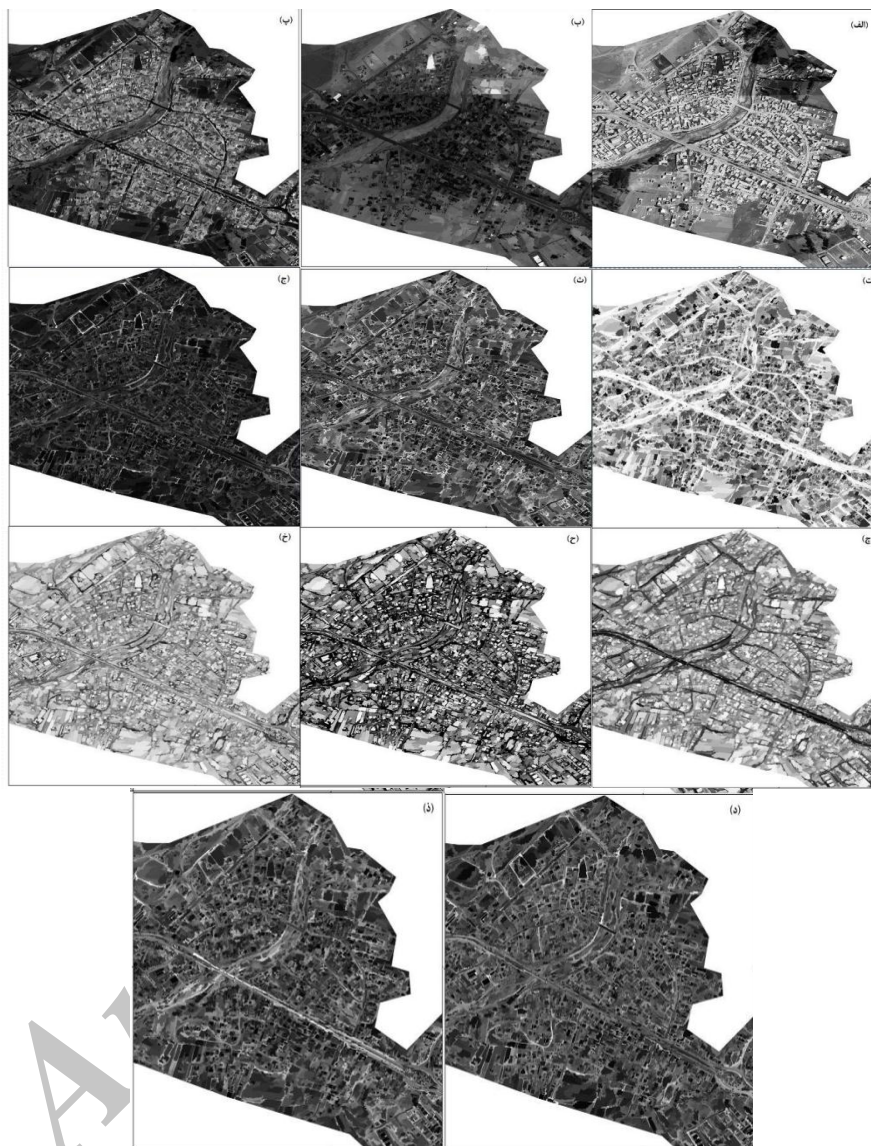
ε_v^{max} : شعاع کوچک‌ترین بیضی پیوستی؛ و ε_v^{min} : شعاع بزرگ‌ترین بیضی محصور شده است.

شاخص شکل

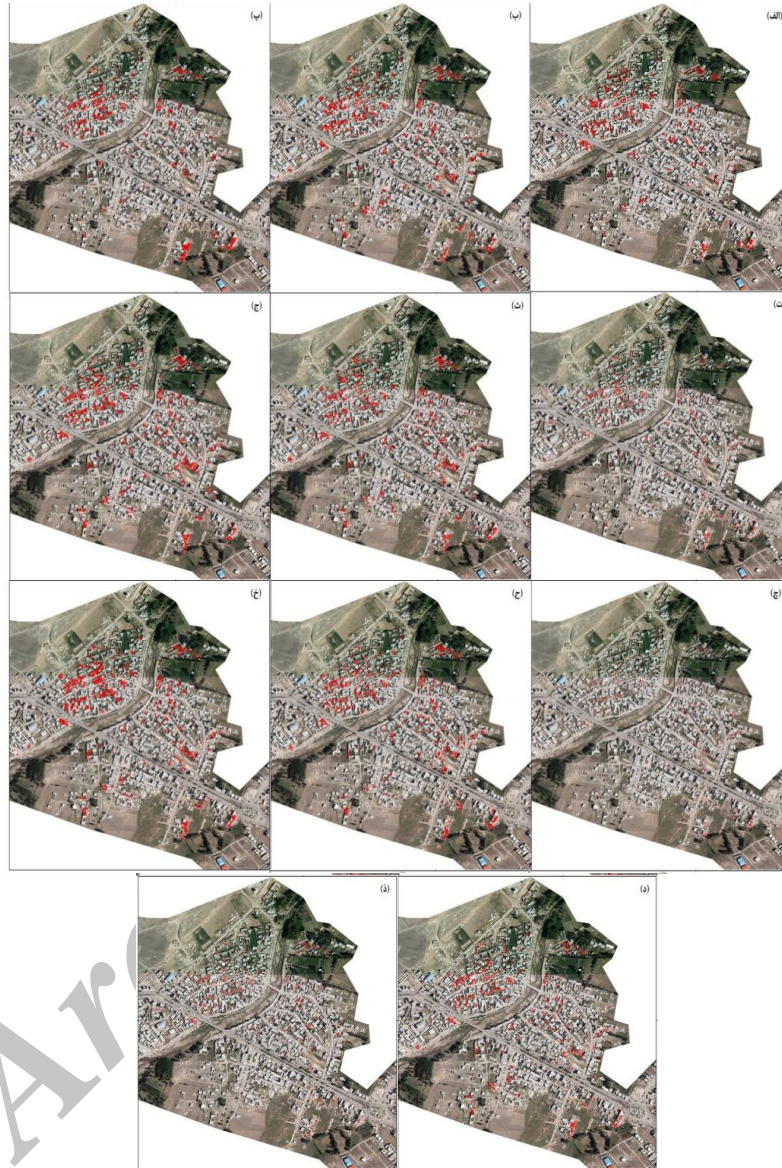
این شاخص صافی مرز اشیای تصویر را مدنظر قرار می‌دهد؛ به طوری که اشیایی که نرم‌ترین و صاف‌ترین مرز را داشته باشند، کمترین مقدار شاخص شکل را به خود اختصاص خواهند داد. محاسبه این شاخص از طریق تقسیم طول مرز اشیای تصویر، بر چهاربرابر ریشه دوم مساحت آن انجام می‌گیرد (رابطه ۱۱) و دامنه ارزش این شاخص بین ۱ تا بی‌نهایت است. حد ایده‌آل این شاخص، ۱ است، شکل ۲ د، مقادیر اختصاص یافته به هر شیء تصویری را در منطقه تحقیق نمایش می‌دهد. این مقادیر برای ساختمان‌های تخریب‌شده بزرگ‌تر از $۴/۴۳۲$ تا $۷/۷۴۹$ است.

$$(11) \quad \frac{b_v}{\sqrt{\#P_v}}$$

b_v : طول مرز اشیای تصویر است؛ و $\sqrt{\#P_v}$: مرز مربع با مساحت $\#P_v$ است.



شکل ۱. نقشه مقادیر اختصاص یافته به اشیا تصویر در هر شاخص، شاخص‌ها به ترتیب از سمت راست-بالا: الف (Brightness)؛ ب (Max.diff)؛ پ (Standard Deviation)؛ ت (Asymmetry)؛ ث (Border index)؛ ج (Compactnes)؛ چ (Density)؛ ح (Elliptic Fit)؛ خ (Rectangular Fit)؛ د (Roundness)؛ ذ (Shape index).



شکل ۲. مناطق تخریبی استخراج شده با استفاده از هر شاخص، شاخص‌ها به ترتیب از سمت راست - بالا: الف (Brightness)؛ ب (Max.diff)؛ پ (Standard Deviation)؛ ت (Asymmetry)؛ ث (Border index)؛ ج (Compactnes)؛ چ (Density)؛ ح (Elliptic Fit)؛ خ (Rectangular Fit)؛ د (Roundness)؛ ذ (Shape index).

صحت‌سنجی نتایج

با نگاهی به شکل ۲، می‌توان مناطق تخریبی استخراج‌شده توسط هر شاخص را در مقیاس کوچکی با هم مقایسه کرد. در بخش نهایی برای مقایسه درصد صحت ساختمان‌های تخریبی استخراج‌شده با استفاده از شاخص‌های متفاوت، از ۵۱ نقطه نمونه که با استفاده از بازدیدهای میدانی در منطقه تحقیق به شکل تصادفی و از مناطق تخریبی برداشت شده بود استفاده شده است. برای سنجش نتایج، ابتدا حریم‌های ۵ و ۱۰ متری این نقاط تهیه و سپس صحت هر شاخص جداگانه با این نقاط سنجیده شد که نتایج آن در جدول ۲ به درصد بیان شده است. با توجه به اطلاعات این جدول، هم می‌توان نتایج حاصل از هر شاخص را در دو مقیاس سنجید و هم می‌توان شاخص‌های مختلف را مقایسه کرد.

جدول ۲. درصد صحت الگوریتم‌های استفاده‌شده

عنوان شاخص	درصد صحت با بافر ۵ متر	درصد صحت با بافر ۱۰ متر
ضریب روشنایی	۹۸/۰۳	۹۸/۰۳
حداکثر تفاوت	۹۴/۱۱	۸۸/۲۳
عدم تقارن	۹۴/۱۱	۸۸/۲۳
شاخص مرزی	۹۴/۱۱	۸۸/۲۳
ضریب فشردگی	۹۸/۰۳	۹۸/۳۰
تراکم	۹۲/۱۵	۶۴/۷۰
بیضوی	۹۸/۰۳	۹۲/۱۵
اشکال منظم هندسی	۹۸/۰۳	۹۲/۱۵
گردی	۹۶/۰۷	۹۶/۰۷
شاخص شکل	۹۲/۱۵	۸۸/۲۳
انحراف معیار	۱۰۰	۶۶/۶۶

بحث و نتیجه‌گیری

استخراج ساختمان‌های آسیب‌دیده در اثر زلزله و برآورد نسبت تخریب یکی از موضوعات مهم در پژوهش‌های سنجش از دور با رویکرد مدیریت مخاطرات محیطی به حساب می‌آید. در این مقاله به کارایی روش‌های شیء‌گرا در استخراج ساختمان‌های تخریب‌شده و ارائه بهترین الگوریتم در آن با استفاده از تصاویر هوایی پرداخته شده است. برای ارزیابی روش، با استفاده از ۱۱ الگوریتم کارایی روش‌های شیء‌گرا در استخراج ساختمان‌های تخریب‌شده در منطقه سنجیده شده و به صورت جداگانه مناطق تخریب‌شده در سطح شهر استخراج شد. در مرحله

بعد، با استفاده از نقاط نمونه با بافر ۵ و ۱۰ متر صحت الگوریتم‌ها سنجیده شد و در دو سطح مقیاس کارایی هر الگوریتم سنجیده شد. با توجه به جدول ۲، نتایج نشان داد که در مقیاس بافر ۵ متر تمامی الگوریتم‌های استفاده شده با صحت بیشتر از ۹۰ درصد، کارایی مطلوب روش شیء‌گرا را در استخراج مناطق تخریبی نشان می‌دهد. بیشترین صحت مربوط به الگوریتم انحراف معیار با کارایی ۱۰۰ درصد است و الگوریتم‌های ضریب روشنایی، ضریب فشردگی، و بیضوی با کارایی ۹۸/۰۳ درصد در مرتبه بعدی قرار می‌گیرند؛ در مقیاس بافر ۱۰ متر به غیر از شاخص انحراف معیار، سایر الگوریتم‌ها با میانگین صحت ۸۸/۲۳ از کارایی خوبی در شناسایی مناطق تخریبی برخوردارند و بر کارآمدی روش‌های شیء‌گرا در استخراج ساختمان‌های تخریب شده تأکید می‌کنند. در این مقیاس، الگوریتم‌های ضریب روشنایی و فشردگی با ۹۳/۰۳، اشکال منظم هندسی و گردی با ۹۶/۰۷ درصد و بیضوی با ۹۲/۱۵ درصد، بیشترین کارایی را به خود اختصاص داده‌اند. برخی از شاخص‌ها در بافرهای ۵ و ۱۰ متر، صحت زیاد و یکسانی دارند. شاخص‌هایی نظیر ضریب فشردگی و ضریب روشنایی با ۹۸/۰۳ درصد کارایی و گردی و اشکال منظم هندسی نیز با ۹۶/۰۷ درصد کارایی، از بهترین و کارآمدترین شاخص‌ها محسوب می‌شوند که شناسایی ساختمان‌های آسیب‌دیده را با دقت زیادی امکان‌پذیر می‌کنند. نتایج حاصل از شناسایی قسمت‌های آسیب‌دیده نشان می‌دهد که با توجه به مناطق تخریبی استخراج شده که روی نقشه‌های جداگانه برای هر شاخص نمایش داده شده است، ساختمان‌های تخریبی در بافت قدیمی شهر در حاشیه رودخانه، که هسته اولیه شهر ورزقان است تمرکز یافته‌اند و با توجه به مصالح استفاده شده در ساختمان‌های قدیمی و رعایت نکردن اصول مهندسی ساختمان‌سازی، با وقوع زلزله سقف اکثر این ساختمان‌ها به‌طور کامل تخریب شده و تنها دیوارهای آنها باقی مانده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تمامی ساختمان‌های تخریب شده دارای کاربری مسکونی، دامی و انبار برای نگهداری علوفه دامی بوده است. بافت‌های جدید یا تقریباً جدید و دیگر کاربری‌ها که ساختمان‌هایی با مصالح مقاوم‌تر بوده‌اند و بر پایه اصول مهندسی طراحی و ساخته شده‌اند و کاربری‌های صنعتی، مسکونی و ... را شامل می‌شوند، دچار تخریب نشده‌اند یا فقط تخریب بسیار جزئی داشته‌اند که روی تصاویر هوایی قابل رؤیت نیست و نیازمند بازدید حضوری است. نتایج این تحقیق در زمینه به‌کارگیری انواع الگوریتم‌های شیء‌گرا در شناسایی مناطق تخریب شده و معرفی روشی استاندارد برای شناسایی سریع ساختمان‌های تخریب شده در مواقع زلزله دارای اهمیت زیادی است و می‌تواند راهگشای تحقیقات آینده در این زمینه باشد.

منابع

- [۱]. پیشنمازی، پروانه؛ استوار ایزدخواه، یاسمین (۱۳۹۴). «بررسی فرایند اطلاع‌رسانی در زلزله دوگانه اهر- ورزقان و مخاطرات ناشی از آن». *دانش مخاطرات*، دوره ۲، ش ۲: ۱۷۰-۱۵۷.
- [۲]. حسنی تبار، سید محمد (۱۳۹۴). «کاربرد پردازش شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی خودکار اشکال ناهمواری‌ها». پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی.
- [۳]. رنجبر، حمیدرضا؛ آزموه اردلان، علیرضا؛ دهقانی، حمید؛ سراجیان، محمدرضا؛ علیدوستی، علی (۱۳۹۳). «تسهیل فاز واکنش مدیریت بحران زلزله با استخراج ساختمان‌ها بر مبنای آنالیز بافت از تصاویر ماهواره‌ای». *دوفصلنامه علمی- پژوهشی مدیریت بحران*، ش ۵. ۱۳۹۳.
- [۴]. رضایی مقدم، محمدحسین؛ رضایی بنفشه، مجید؛ فیضی‌زاده، بختیار؛ نظم‌فر، حسین (۱۳۸۹). «طبقه‌بندی پوشش اراضی/ کاربری اراضی بر اساس تکنیک شیء‌گرا و تصاویر ماهواره‌ای؛ مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی». *پژوهش‌های آبخیزداری*، ش ۸۷: ۳۵-۲۰.
- [۵]. فرج‌زاده، منوچهر؛ بصیرت، فروغ (۱۳۸۵). «پهنه‌بندی حساسیت تشکیلات زمین‌شناسی در مقابل نیروهای زلزله در منطقه شیراز با استفاده از سنجش از دور». *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی*. دوره ۳۸، ش ۵۵: ۷۲-۵۹.
- [۶]. متکان، علی‌اکبر؛ منصوری، بابک؛ میرباقری، بابک؛ کربلایی، فریبا (۱۳۹۲). «آشکارسازی ساختمان‌های تخریب‌شده بر اثر زلزله در مدت زمان کوتاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بسیار بالا». *کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری*.
- [۷]. منصوری، بابک؛ مصطفی‌زاده، مونا السادات (۱۳۹۴). «توسعه روشی شیء‌گرا جهت تشخیص ساختمان‌ها و برآورد میزان تخریب به روش شبکه عصبی مصنوعی توسط تصاویر VHR». *هفتمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله*، ۲۸ تا ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴.
- [8]. Jawak, S. D.; Raut, D. A.; Luis, A. J. (2015). "Iterative spectral index ratio exploration for object-based image analysis of Antarctic coastal oasis using high resolution satellite remote sensing data", *Aquatic Procedia*, 4: 157-164.
- [9]. Blaschke, T. (2003, October). "Object-based contextual image classification built on image segmentation", In *Advances in Techniques for Analysis of Remotely Sensed Data*, 2003 IEEE Workshop on: 113-119. IEEE.

- [10]. Blaschke, T. (2010). "Object based image analysis for remote sensing". *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 65(1): 2-16.
- [11]. Bouziani, M.; Goita, K; He, D-C. (2010). "Rule-Based Classification of a Very High Resolution Image in an Urban Environment Using Multispectral Segmentation Guided by Cartographic Data", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 48, No. 8: 3198-3211.
- [12]. Dell'Acqua, F.; Gamba, P. (2012). "Remote sensing and earthquake damage assessment: Experiences, limits, and perspectives", *Proceedings of the IEEE*, 100(10): 2876-2890
- [13]. Dong, L.; Shan, J. (2013). "A comprehensive review of earthquake-induced building damage detection with remote sensing techniques", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 84: 85-99.
- [14]. Duan, F.; Gong, H.; Zhao, W. (2010). "Collapsed Houses Automatic Identification Based on Texture Changes of Post-earthquake Aerial Remote Sensing Image", In: 18th International Conference on Geoinformatics.
- [15]. Duarte, D.; Nex, F.; Kerle, N.; Vosselmana, G. (2017). "Towards a More Efficient Detection of Earthquake Induced FAÇADE Damages Using Oblique Uav Imagery", *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*: 93-100
- [16]. Feizizadeh, B.; Blaschke, T.; Tiede, D.; Moghaddam, M. H. R. (2017). "Evaluating fuzzy operators of an object-based image analysis for detecting landslides and their changes", *Geomorphology*.
- [17]. Gerke, M.; Kerle, N. (2011). "Automatic structural seismic damage assessment with airborne oblique pictometry imagery", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 77 (9): 885-898.
- [18]. Janalipour, M.; Mohammadzadeh, A. (2017). "A Fuzzy-GA Based Decision Making System for Detecting Damaged Buildings from High-Spatial Resolution Optical Images", *Remote Sensing*, 9(4), 349.
- [19]. Li, P.; Xu, H.; Liu, Sh.; Guo, J. (2009). "Urban building damage detection from very high resolution imagery using one-class SVM and spatial relations", *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol. 1-5: 3537-3539.
- [20]. Ma, J.; Qin, S. (2012). "Automatic depicting algorithm of earthquake collapsed buildings with airborne high resolution image", *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*: 939-942.
- [21]. Ma, L.; Fu, T.; Blaschke, T.; Li, M.; Tiede, D.; Zhou, Z.; ... Chen, D. (2017). "Evaluation of Feature Selection Methods for Object-Based Land Cover Mapping of Unmanned Aerial Vehicle Imagery Using Random Forest and Support Vector Machine Classifiers", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(2), 51.
- [22]. Ma, L.; Li, M.; Ma, X.; Cheng, L.; Du, P.; Liu, Y. (2017). "A review of supervised object-based land-cover image classification". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130: 277-293.

- [23]. Menderes, A.; Arzu Erener, A.; Sarp, G. (2015). "Automatic Detection of Damaged Buildings after Earthquake Hazard by Using Remote Sensing and Information Technologies", *Procedia Earth and Planetary Science*, 15: 257 – 262.
- [24]. Razzaghi, M. S.; Ghafory-Ashtiany, M. (2012). "A preliminary reconnaissance report on August 11th, 2012, Varzaghan-Ahar twin earthquakes in NW of Iran", *Report of International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior*.
- [25]. Rezaeian, M. (2012). "Automatic Classification of Collapsed Buildings using Stereo Aerial Images", *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887), Volume 46– No.21.
- [26]. Sarp G.; Erener A.; Duzgun S.; Sahin K. (2014). "An approach for detection of buildings and changes in buildings using orthophotos and point clouds: A case study of Van Erci earthquake", *European Journal of Remote Sensing* - 2014, 47: 627-642.
- [27]. Sharma, R. C.; Tateishi, R.; Hara, K.; Nguyen, H. T. Gharchelou, S.; Nguyen, L. V. (2017). "Earthquake damage visualization (EDV) technique for the rapid detection of earthquake-induced damages using SAR data". *Sensors*, 17(2), 235.
- [28]. Singhal, Sh.; Radhika, S. (2014). "Automatic Detection of Buildings from Aerial Images Using Color Invariant Features and Canny Edge Detection", In: *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* – Volume 11, Number 8 - May 2014.
- [29]. Thuy Vu. T.; Matsuoka. M.; Yamazaki. F. (2005). "Preliminary results in development of an object-based image analysis method for earthquake damage assessment", Proc. of 3rd International workshop Remote Sensing for Post-Disaster Response, Chiba, Japan.
- [30]. Tong, X.; Hong, Z.; Liu, Sh.; Zhang, X.; Xie, H.; Li, Z.; Yang, S.; Wang, W.; Bao, F. (2012). "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*, 68: 13–27.
- [31]. Tong. X.; Lin. X.; Feng. T.; Xie. H.; Liu. S.; Hong. Z.; Chen. P. (2013). "Use of shadows for detection of earthquake-induced collapsed buildings in high-resolution satellite imagery", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 79, 53–67.
- [32]. Wang, J.; Zhou, W.; Qian, Y.; Li, W.; Han, L. (2017). "Quantifying and characterizing the dynamics of urban greenspace at the patch level: A new approach using object-based image analysis", *Remote Sensing of Environment*.
- [33]. Yamazaki, F.; Iwasaki, Y.; Liu, W.; Nonaka, T.; Sasagawa, T. (2013). "Detection of damage to building side-walls in the 2011 Tohoku, Japan earthquake using high-resolution TerraSAR-X images, Image and Signal Processing for Remote Sensing XIX", 17 October 2013, Published in SPIE Proceedings Vol. 8892.