

تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار به منظور تعیین ساختمان‌های تخریب شده ناشی از زلزله بر مبنای الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در هایتی

فائزه اسلامی زاده^۱

حیدر راستی ویس^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۲/۲۱

چکیده

با توجه به رشد جمعیت و افزایش شهرنشینی، وقوع حوادث طبیعی مثل زلزله می‌تواند خسارات و تلفات سنگینی را ایجاد نموده و توسعه شهرها و کشورها را دچار وقفه نماید. پس از وقوع زلزله، مدیران بحران برای به حداقل رساندن خسارات، اعم از جانی و مالی، به اطلاعات سریع از منطقه آسیب دیده نیاز دارند. یکی از اطلاعاتی که می‌تواند در امدادرسانی سریع و صحیح مورد استفاده قرار گیرد نقشه موقعیت ساختمان‌های تخریب شده و میزان تخریب آن‌ها می‌باشد که به آن نقشه تخریب می‌گویند. از این رو هدف از این تحقیق ارائه یک روش جدید به منظور ارزیابی میزان تخریب ناشی از زلزله با استفاده از تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار بعد از زلزله به همراه نقشه قبل از زلزله می‌باشد. روش پیشنهادی، پس از پیش پردازش‌های لازم بر روی تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار بعد از زلزله، توصیف‌گرهای بافتی مختلف تصویر و داده لیدار استخراج می‌شوند. در مرحله بعد، با استفاده از لایه ساختمان‌ها که از نقشه استخراج می‌شود نواحی مربوط به ساختمان‌ها از تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار، همچنین از توصیف‌گرهای تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار استخراج می‌شود. در ادامه، توصیف‌گرهای بافتی استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار با هم تلفیق می‌شوند. سپس نقاط داخل این ناحیه، با روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان به دو کلاس آوار و سالم طبقه‌بندی می‌شوند. در نهایت، بر اساس مساحت کلاس آوار هر ساختمان، با در نظر گرفتن یک حد آستانه، ساختمان‌های تخریب شده و ساختمان‌های تخریب نشده مشخص می‌گردد. در این مقاله، تصویر ماهواره‌ای WorldView پرتوپرنس، پایتخت هایتی، پس از زلزله ۲۰۱۰ به همراه داده لیدار استفاده شده است. صحت کلی بدست آمده ۹۷٪ و ضریب کاپا به دست آمده ۹۲٪ نشان‌دهنده توانایی الگوریتم در تولید نقشه تخریب پس از زلزله می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زلزله، تصویر ماهواره‌ای، داده لیدار، طبقه‌بندی، ماشین بردار پشتیبان، نقشه تخریب.

۱- کارشناس ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران f.eslamizade@ut.ac.ir

۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) hrasti@gmail.com

۱- مقدمه

اپراتور در کار با تصویر، اعتمادپذیری و دقت نقشه تخریب را افزایش می‌دهد. ولی این روش به دلیل زمان بر بودن آن در مواقع اضطرار باعث شده تا محققان علاقه کمتری به این روش نشان دهند. روش اتوماتیک بر اساس پردازش اتوماتیک اطلاعات توسط کامپیوتر صورت می‌گیرد (Dong & Shan, 2013). در روش‌های اتوماتیک تهیه نقشه تخریب معمولاً ممکن است تنها بر اساس اطلاعات بعد از زلزله انجام شود که از الگوریتم‌های طبقه‌بندی برای این منظور استفاده می‌شود. در برخی مواقع از اطلاعات قبل از زلزله نیز به عنوان اطلاعات کمکی به منظور مقایسه با اطلاعات بعد از زلزله استفاده می‌شود. روش‌هایی را که از اطلاعات قبل و بعد از زلزله استفاده می‌شود روش‌های آشکارسازی تغییرات می‌نامند.

در این مقاله، یک الگوریتم به منظور تولید اتوماتیک نقشه تخریب ساختمان‌ها با استفاده از تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار بعد از زلزله به همراه نقشه قبل از زلزله ارائه شده است. برای این منظور در ادامه روش‌های موجود تهیه نقشه تخریب با استفاده از داده لیدار و استفاده از تصویر ماهواره‌ای و تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار مورد ارزیابی قرار گرفتند و دقت‌های بدست آمده از این سه روش نیز با هم مقایسه شده‌اند. مقایسه سه روش، توانایی روش پیشنهادی در تولید نقشه تخریب با استفاده از تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار بعد از زلزله را نسبت به استفاده تنها از تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار نشان می‌دهد. به طوری که کاپا به دست آمده از روش تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار ۹۲٪ می‌باشد.

۱-۱- مروری بر تحقیقات گذشته

مطالعات زیادی در زمینه تعیین ساختمان‌های تخریب شده صورت گرفته است. این تحقیقات به سه دسته تحقیقات بر مبنای تصویر ماهواره‌ای، تحقیقات بر مبنای داده لیدار و تحقیقات بر مبنای تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار می‌باشد.

وقوع حوادث و بلایای طبیعی را می‌توان از مهمترین دغدغه‌ها و نگرانی‌های زندگی بشر به خصوص مردم کشورهای در حال توسعه دانست. براساس آمارهای منتشر شده از سوی سازمان‌های جهانی، طی ۲۰ سال گذشته بیش از ۳ میلیون نفر در اثر بلایای طبیعی در جهان جان خود را از دست داده و زندگی بیش از یک میلیارد نفر تحت تأثیر این بلایا قرار گرفته است. در این بین شاید بتوان زلزله را به عنوان غم‌انگیزترین و مخوف‌ترین مخاطره طبیعی قلمداد کرد؛ به ویژه این که تعداد زیادی از کشورهای جهان سوم در معرض آن قرار دارند.

متأسفانه، در دو دهه اخیر زلزله‌های مرگبار زیادی در کشورهای مختلف اتفاق افتاده است. یکی از بزرگترین زلزله‌های قرن ۲۱ زلزله هایتی بود که در ۱۲ ژانویه ۲۰۱۰ با بزرگی ۷ ریشتر در هایتی اتفاق افتاد (USGS, 2011). در ایران نیز، متأسفانه، شاهد زلزله‌های مرگبار زیادی مانند زلزله سال ۱۳۸۲ بم (Rastiveis, 2013). زلزله سال ۱۳۹۲ آذربایجان شرقی بوده‌ایم که باعث کشته شدن تعداد زیادی از هموطنان شده‌اند. بر خلاف پیشرفت‌های بسیار، بشر هنوز نتوانسته است روشی صحیح و کارآمد به منظور پیش‌بینی به هنگام زلزله ارائه دهد. بنابراین، پاسخ اضطراری سریع و دقیق پس از وقوع زلزله نقش مهمی در کاهش تعداد مرگ و میر دارد. از جمله اطلاعاتی که به مدیران بحران در کاهش خسارات کمک می‌کند نقشه تخریب و استفاده در هدایت تیم‌های امداد و نجات پس از بحران می‌باشد که تا حد زیادی می‌تواند در کاهش تعداد مرگ و میر مفید باشد.

منابع اطلاعاتی زیادی جهت تولید نقشه تخریب وجود دارد که از آن جمله می‌توان به تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر هوایی، داده‌های لیدار و تصاویر زمینی اشاره کرد. به طور کلی روش‌های تعیین ساختمان تخریب شده به دو صورت تفسیر بصری و اتوماتیک تقسیم‌بندی می‌شود. با تفسیر بصری توسط یک اپراتور انسانی، در مورد میزان تخریب تصمیم‌گیری صورت می‌گیرد. بنابراین، حرف‌های بودن

۱-۱-۱- استفاده از تصویر

تانگ با استفاده از جفت تصاویر استریو با قدرت تفکیک بالا سنجنده آیکونوس (IKONOS II) قبل و بعد از وقوع زلزله سال ۲۰۰۸ شهر ونشوان (Wenchuan) چین، به دو روش جهت تهیه نقشه تخریب اقدام کرده است. در روش اول، ساختمان‌های تخریب شده از اختلاف ارتفاع گوشه‌های ساختمان در جفت تصویر استریو قبل و بعد 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 (Tong et al., 2012). در تحقیق دیگری، صمدزادگان با استفاده از نقشه قبل از زلزله و استخراج عوارض طیفی و بافتی از تصاویر ماهواره‌ای بعد به تعیین ساختمان‌های تخریب شده در بم پرداخته است (Samadzadegan, Valadan Zoj, & Moghaddam, 2010). ماریاما با تولید مدل رقومی سطح (DSM) قبل و بعد از زلزله با استفاده از عکس‌های هوایی رقومی قبل و بعد از زلزله و محاسبه اختلاف آنها نسبت به تشخیص ساختمان‌های تخریب شده ناشی از زلزله سال ۲۰۰۷ شهر نیگاتا-چیوتسو (Niigata-Chuetsu oki)، ژاپن، اقدام کرده است (Maruyama, 2011). راستی ویس با به کار بردن تصاویر ماهواره‌ای کویک برد (Quick Bird II) قبل و بعد از زلزله شهر بم نقشه تخریب ساختمان‌ها پس از زلزله را بدست آورده است. در این روش، برای برآورد میزان تخریب ساختمان‌ها از سیستم استنتاج فازی و بر مبنای اطلاعات ساختاری و آنالیز شکل ساختمان‌ها، ساختمان‌های تخریب شده تشخیص داده شدند (Rastiveis et al., 2013). جان‌علی‌پور از مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) به منظور تعیین ساختمان تخریب شده شهر بم استفاده کرده است.

در روش به کار برده شده تصویر ماهواره‌ای با توان تفکیک مکانی بالا، Quick Bird II و لایه‌برداری ساختمان قبل از وقوع زلزله مورد استفاده قرار گرفته است. در این مقاله اطلاعات کلاس‌ها با استفاده از طبقه‌بندی در سطح پیکسل از تصاویر ماهواره‌ای بعد از زلزله استخراج شده

است. در نهایت اطلاعات کلاس‌ها با کمک مدل ANFIS یک شبکه فازی طراحی شده و درصد پیکسل‌های ساختمان، سایه و آوار، میزان تخریب ساختمان‌ها تشخیص داده شده است. صحت کلی در این تحقیق ۹۲٪ گزارش شده است (جان‌علی‌پور، ۱۳۹۳).

رنجبر در مقاله‌ای با استفاده از تصویر ماهواره‌ای بعد از زلزله و نقشه قبل از زلزله به تعیین ساختمان‌های تخریب شده در زلزله آذربایجان پرداخته است. در این روش، پیکسل‌های ساختمان‌ها با دو روش بیشترین شباهت و شبکه عصبی برای دو گروه سالم و آسیب دیده رده‌بندی شدند. پلیگون‌ها به سه رده تخریب بالای ۷۰٪ تخریب بین ۳۰٪ تا ۷۰٪ و تخریب زیر ۳۰٪ اقدام گردید (رنجبر، ۱۳۹۳). رنجبر با استفاده از تصویر ماهواره‌ای قبل و بعد از زلزله به تهیه نقشه تخریب در شهرهای اهر و ورزقان در استان آذربایجان غربی پرداخت. در این مقاله پس از استخراج توصیف‌گرهای بافتی از تصویر قبل و بعد، یک سیستم استنتاج فازی عصبی برای تعیین وضعیت ساختمان‌ها در چهار کلاس «سالم تا تخریب ناچیز»، «تخریب متوسط»، «تخریب سنگین» و «ویران» طراحی شد. صحت کلی به دست آمده در این روش ۸۹٪ می‌باشد (رنجبر، ۱۳۹۳). گامبا در منطقه سانتومنا (Santomenna) در ایتالیا با استفاده از تصاویر قبل و بعد از زلزله به بررسی تغییرات پرداختند (Gamba & Casciati, 1998). هوادانگ در منطقه Wenchuan با استفاده از تصاویر ADS۴۰ و سیستم SAR به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداخت (Guo et al., 2010). ترکر با استفاده DEM منطقه که از عکس‌های هوایی استریو قبل و بعد بدست آمده در منطقه ایزمیت (Izmit) ترکیه به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداخت. دقت کلی در این روش برابر با ۹۰/۳۴٪ و ضریب کاپا برابر با ۵۱/۶۰ است (Turker & Cetinkaya, 2005).

سارپ با استفاده از تصاویر اورتوفتو و ابر نقاط که از تناظریابی داده‌های استریو به دست می‌آید به تغییرات ساختمان‌ها در زلزله ون اریکس (Van Erciş) در ترکیه پی‌بردند. روش پیشنهادی آنها شامل سه بخش می‌باشد:

۱-۱-۲- استفاده از لیدار

راستی ویس با استفاده از نقشه قبل از زلزله و داده لیدار بعد از زلزله به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پس از زلزله سال ۲۰۱۰ هایتی پرداخت. در این روش از طبقه‌بندی داده لیدار به روش ماشین‌بردار پشتیبان برای شناسایی ساختمان‌های تخریب شده استفاده شد که صحت کلی ۹۱/۵۹ درصد و ضریب کاپا برابر با ۷۱/۶۱٪ گزارش شده است (Rastiveis, Eslamizade, 2015).

رهور در منطقه آموزشی ارتش سویس با استفاده از مدل ساختمانی شامل سطوح صفحه‌ای قبل از وقوع زلزله و سطوح صفحه‌ای که از لیزر اسکنرها بعد از وقوع حادثه استخراج شده‌اند به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداختند. در این مقاله برای تعیین سطوح صفحه‌ای از حجم و تنزل ارتفاعی و تغییرات سطوح ساختمان استفاده شده است (Rehor, Bahr, 2008). لیبیک با استفاده از داده‌های لیدار بعد از وقوع زلزله و استفاده از اطلاعات بافت و شیب در هایتی به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداختند. برای استخراج ساختمان‌ها و حذف گیاهان از پارامترهایی چون ارتفاع نرمال، تغییرات ارتفاعی و شدت، اطلاعات در رابطه با بازگشت‌های متعدد استفاده کردند. دقت به دست آمده در این مقاله ۷۳/۴۰٪ است اما دقت کاپا ۰/۲۷۵ می‌باشد که این مقدار پایین می‌باشد (Labiak et al., 2011).

۱-۱-۳- تحقیقات بر مبنای لیدار و تصویر

لی من چوان با استفاده از تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده‌های لیدار به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداختند. در این مقاله مدل سه‌بعدی از داده لیدار و تصویر ماهواره‌ای قبل و بعد از وقوع زلزله ایجاد شده و با مقایسه این دو مرحله ساختمان تخریب شده تعیین می‌شود. همچنین در این مقاله برای برآورد میزان تخریب از نسبت مساحت قسمت تخریب شده به نسبت مساحت کل سقف استفاده شده است (Li et al., 2008). تریندر با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصویر به تعیین ساختمان‌های تخریب شده در کافس هاربور (Coffs Harbour) در استرالیا پرداخت.

مرحله اول، طبقه‌بندی تصاویر اورتوفتو رنگی (RGB) قبل و بعد با استفاده از روش طبقه‌بندی SVM می‌باشد. مرحله دوم تولید nDSM که با استفاده از ابر نقطه و DTM تولید می‌شود. در واقع DSM منطقه با استفاده از تصاویر استریو هوایی به دست می‌آید و DTM منطقه با استفاده از خطوط کنتور توپوگرافی به تولید می‌شود. nDSM از اختلاف DTM و DSM ساخته می‌شود. در نهایت ارزیابی ساختمان‌های تخریب شده از مقایسه بین دو نتیجه طبقه‌بندی داده قبل و بعد محاسبه می‌شود. وی به این نتیجه رسید که استفاده از nDSM باعث ارتقای دقت طبقه‌بندی می‌شود (Sarp, Erenner, Duzgun, 2014).

مندرس با استفاده از اطلاعات سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات مکانی (GIS) به تعیین ساختمان‌های تخریب شده در زلزله Van Erciş در ترکیه پرداخت. در این تحقیق از nDSM قبل و بعد از زلزله برای تعیین ساختمان‌های تخریب شده استفاده شده است. nDSM منطقه از اختلاف DSM و DEM بدست می‌آید. در این مقاله داده زمینی منطقه از عکس هوایی و nDSM به دست می‌آید. دقت کلی بدست آمده برای منطقه تست اول برابر با ۹۶/۵۴٪ و منطقه تست دوم برابر با ۹۰/۷۴٪ و میزان کاپا برای منطقه اول ۸۲/۵٪ و برای منطقه دوم ۵۶/۹۳٪ می‌باشد (Menderes, Erenner, 2015).

هاشمی پرست و همکاران (۲۰۱۶) به آنالیز فرآیند نوسازی و تغییرات ساختمان‌های تخریب شده در بم پرداختند. در این مقاله به منظور ارزیابی ساختمان‌های بازسازی شده سه راه در نظر گرفته شده است. ابتدا آمارها و گزارشات رسمی شامل ارزیابی کمی و کیفی فرآیند بازسازی برای به دست آوردن خروجی کلی پروژه بازسازی دولتی بررسی شد. سپس با استفاده از تصاویر سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ برای به دست آوردن تغییرات در شهر بم اقدام نمودند. در این تحقیق، ابتدا با استفاده از تصویر اول، سه ماه قبل از زلزله، و تصویر دوم، بعد از زلزله، میزان ساختمان‌های تخریب شده را برآورد کردند و سپس به منظور ارزیابی فرآیند نوسازی و تغییرات زمین از تصویر سوم که هشت سال بعد از حادثه گرفته شده استفاده کردند (Hashemi Parast, 2016).

داده لیدار بعد از زلزله به همراه نقشه است. روش پیشنهادی شامل شش مرحله اصلی می‌باشد: پیش-پردازش، استخراج توصیف‌گر، استخراج نواحی ساختمانی، طبقه‌بندی، ارزیابی میزان تخریب، و در نهایت نقشه تخریب می‌باشد. روش طبقه‌بندی به کار برده شده ماشین‌بردار پشتیبان می‌باشد که یکی از قوی‌ترین روش‌های طبقه‌بندی است که اخیراً محققین علاقه بسیاری در استفاده از این روش دارند. روش تلفیق در این مقاله تلفیق در سطح توصیف‌گر می‌باشد که در این روش توصیف‌گرها پس از استخراج از تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار با هم تلفیق می‌شوند.

۲- روش پیشنهادی

در این تحقیق روشی برای تعیین میزان تخریب ناشی از زلزله، با استفاده از تلفیق تصویر ماهواره‌ای بعد از زلزله با قدرت تفکیک بالا و داده لیدار بعد از زلزله به همراه نقشه ارائه و پیاده‌سازی شده است. نگاره ۱ فلوجارت روش پیشنهادی را نمایش می‌دهد. در روش پیشنهادی، پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار بعد از زلزله، توصیف‌گرهای بافتی از تصویر داده لیدار استخراج می‌شوند. در مرحله بعد، با استفاده از لایه ساختمان‌ها که از نقشه نواحی مربوط به ساختمان‌ها به دست آمده‌اند، از تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار استخراج می‌شوند. در ادامه، نقاط داخل این ناحیه، با روش طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان به دو کلاس آوار و سالم طبقه‌بندی می‌شوند. در نهایت، براساس مساحت کلاس آوار هر ساختمان و، با در نظر گرفتن یک حد آستانه ساختمان‌های تخریب شده و ساختمان‌های تخریب نشده استخراج می‌شوند.

۲-۱- پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌ها

در روش پیشنهادی، برای محاسبات بهتر و دقیقتر، قبل از پردازش‌های اصلی بر روی تصویر و داده لیدار، یک مرحله پیش‌پردازش بر داده‌های خام انجام می‌گیرد.

در این مقاله از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) که با استفاده از داده‌های لیدار به دست آمده و تصویر هوایی در دو بازه زمانی استفاده شده است. این مقاله شامل سه مرحله: پیش‌پردازش داده‌ها، کشف تغییرات و در نهایت ارزیابی نتایج می‌باشد (Trinder & Salah, 2012). تیان با استفاده از تصویر ماهواره‌ای بعد از زلزله و DSM در هایتی به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداخت. در این مقاله سه تغییر مورد بررسی قرار گرفته است: ۱- ساختمان‌های تخریب شده ۲- ساختمان‌های بازسازی شده ۳- پناهگاه‌های موقتی (Tian, Nielsen, & Reinartz, 2015).

بررسی پیشینه تحقیق بیانگر آن است که تحقیقات کمی در زمینه تعیین ساختمان‌های تخریب شده با استفاده از تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار انجام شده است، در حالیکه استفاده از تصویر ماهواره‌ای یا داده لیدار، به تنهایی، نمی‌تواند تمامی اطلاعات لازم جهت شناسایی اتوماتیک تمامی ساختمان‌های تخریب شده را در اختیار دهد. به طور کلی، مزایای استفاده از داده لیدار این است که به دلیل معلوم بودن اطلاعات ارتفاعی باعث می‌شود ساختمان‌هایی که کاملاً نشست کرده‌اند به درستی تشخیص داده شوند. در حالی که به دلیل نامعلوم بودن اطلاعات طیفی در داده لیدار، بعضی از ساختمان‌های تخریب شده به درستی تشخیص داده نشده‌اند. از طرف دیگر، در تصویر ماهواره‌ای به دلیل معلوم بودن اطلاعات طیفی ساختمان‌های تخریب شده به درستی تعیین شده است ولی چون اطلاعات ارتفاعی نامعلوم است بخش‌هایی از ساختمان که کاملاً نشست کرده و سقف آن سالم مانده در تصویر قابل تشخیص نمی‌باشد. به این دلیل استفاده از تلفیق لیدار و تصویر ماهواره‌ای در کنار هم می‌تواند روش مناسبی برای تولید نقشه تخریب باشد.

از نوآوری‌های این مقاله استفاده همزمان از اطلاعات طیفی و ارتفاعی می‌باشد، چرا که این دو نوع اطلاعات در کنار هم می‌توانند مکمل‌های خوبی در تشخیص ساختمان‌های تخریب شده از سالم ارائه دهند. هدف از این تحقیق تعیین میزان تخریب ناشی از زلزله، با استفاده از تلفیق تصویر ماهواره‌ای بعد از زلزله با قدرت تفکیک بالا و

تصویر می‌باشد. هر درایه از ماتریس هم اتفاق $(\eta(i,j))$ تعداد جفت پیکسل‌های با درجات خاکستری i و j را نشان می‌دهد. جفت پیکسل‌ها، با یک فاصله و یک جهت θ که به صورت یک بردار جابجایی d نشان داده می‌شود، تعریف می‌گردند. پس از محاسبه ماتریس هم اتفاق، می‌توان توصیف‌گرهای بافتی هارالیک را محاسبه کرد (Samadzadegan et al., 2010).

$$GLCM_{d_i, d_j} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} \eta(0,0) & \eta(0,1) & \dots & \eta(0, N_{g-1}) \\ \eta(1,0) & \eta(1,1) & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \eta(N_{g-1}, 0) & \dots & \dots & \eta(N_{g-1}, N_{g-1}) \end{bmatrix}$$

که در آن $\eta(i,j)$ ، جفت پیکسل‌ها در طول (d_i, d_j) و N_g و R به ترتیب شمار سطح خاکستری و شمار کلی جفت پیکسل‌ها می‌باشد. در جدول ۱ برخی از توصیف‌گرهای بدست آمده از ماتریس هم اتفاق نشان داده شده است.

الگوریتم بهبود کیفیت تصویر تعادل‌سازی هیستوگرام برای افزایش قدرت تصویر، اعمال می‌گردد (Rastiveis et al., 2013). پس از طی مراحل بهبود تصویر و داده لیدار، در صورتی که داده‌ها هم مختصات نشده باشند، باید در یک مرحله داده تصویر و لیدار با نقشه هم مختصات شوند. برای این منظور، از عوارض قابل تشخیص در لیدار و تصویر می‌توان به عنوان نقطه کنترل استفاده کرد.

۲-۲-۲ استخراج توصیف‌گر

۱-۲-۲ توصیف‌گرهای تصویر

نوع توصیف‌گر استخراج شده تأثیر مستقیم بر روی نتیجه طبقه‌بندی دارد. در اینجا، توصیف‌گر مناسب، توصیف‌گری است که بین قسمت آوار و سالم ساختمان تمایز ایجاد کند. در این مقاله، اطلاعات بافتی از تصویر ماهواره‌ای و لیدار به عنوان توصیف‌گرهای تصویر در طبقه‌بندی به کار برده شده‌اند.

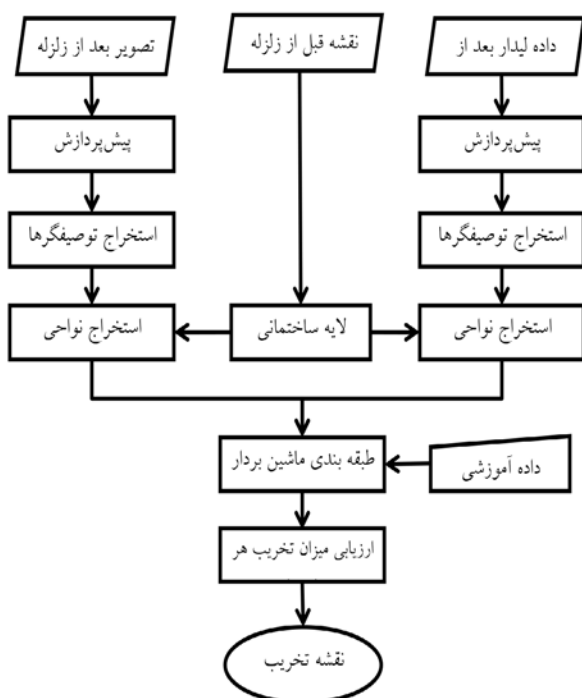
۲-۲-۲-۲ توصیف‌گرهای لیدار

با استفاده تنها از ارتفاع نقاط در داده لیدار جداسازی بخش آوار و سالم ساختمان‌ها تقریباً امکان‌پذیر نمی‌باشد. اما، با استخراج توصیف‌گرهای مناسب مانند توصیف‌گرهای بافتی از داده لیدار می‌توان این کلاس‌ها را از یکدیگر تفکیک کرد.

۲-۲-۳ اطلاعات بافتی

در پردازش تصویر بافت به لحاظ ادراکی خصوصیتی مثل نرمی، زبری، منظم بودن را کمی‌سازی می‌کند. روش‌های بسیاری مثل روش آماری برای استخراج توصیف‌گرهای بافتی موجود است. در این بین، ماتریس رخداد توأم درجه خاکستری (Co-occurrence) توانایی زیادی در نشان دادن وابستگی‌های مکانی درجات خاکستری پیکسل‌ها در بین تصویر را دارد (Samadzadegan et al., 2010).

ماتریس رخداد توأم درجه خاکستری را اولین بار هارالیک (Haralick)، در سال ۱۹۷۳ پیشنهاد کرد که یک ماتریس مربعی با ابعاد $N_g \times N_g$ است. N_g تعداد درجات خاکستری موجود در



نگاره ۱: فلوجارت روش پیشنهادی به منظور تهیه نقشه تخریب ساختمان‌ها با استفاده از تصویر ماهواره‌ای و نقشه

اینجا، ۷۰ درصد از داده‌ها به عنوان داده آموزشی جهت طراحی طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان و ۳۰ درصد از داده‌ها به عنوان داده چک جهت ارزیابی صحت طبقه‌بندی کننده در نظر گرفته می‌شود. انتخاب درست داده آموزشی اهمیت زیادی در رسیدن به صحت مطلوب دارد. با استفاده از روش ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) و توصیف‌گرهای استخراج شده برای نقاط داخل نواحی ساختمانی، این نقاط به دو کلاس آوار و سالم طبقه‌بندی می‌شوند.

۲-۴-۱- طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان

ماشین‌بردار پشتیبان یکی از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده یادگیری ماشینی هستند که در زمینه سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این روش نسبتاً جدید است که اغلب برای کلاسه‌بندی باینری مورد استفاده قرار می‌گیرد. دقت طبقه‌بندی حاصل از SVM با توجه به نوع تابع کرنل متغیر است. این روش عموماً برای مسائل دو کلاسه مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما روش‌های متفاوتی برای ترکیب چند SVM و ایجاد یک الگوریتم دسته‌بندی چند کلاسه پیشنهاد شده است (Joachims, 2002).

فرض کنید L مشاهده داریم که هر مشاهده مشتمل بر زوج‌هایی است که در آن بردار ورودی و یک مقدار دو وضعیتی (۱- یا +۱) است. ایده ماشین‌بردار پشتیبان می‌کوشد، صفحه جداکننده‌ای در فضا رسم کند که عمل

۲-۳- استخراج ناحیه ساختمانی

پس از هم مختصات شدن هر دو تصویر ماهواره‌ای و نقشه در مرحله پیش‌پردازش، موقعیت هر نقطه از نقشه به آسانی بر روی تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار قابل تشخیص می‌باشد. به همین اعتبار، در این مرحله، ابتدا با کمک اطلاعات هم مختصات شدن تصویر و نقشه تمامی نقاط ساختمان‌ها از نقشه بر روی تصویر نگاشت می‌شود. سپس، تمامی پیکسل‌های مربوط به تصویر که داخل محدوده ساختمانی قرار دارند استخراج می‌شوند. با انجام این مرحله، تمامی نقاط خارج از محدوده ساختمان‌ها از تصویر حذف می‌شوند. تمامی این مراحل برای داده لیدار و نقشه نیز انجام می‌شود. بنابراین با توجه به حذف نواحی غیر ساختمانی در مرحله طبقه‌بندی فقط نقاط استخراج شده داخل محدوده ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که در مرحله بعد طبقه‌بندی می‌تواند در دو کلاس آوار و سالم صورت پذیرد.

۲-۴-۲- طبقه‌بندی ناحیه ساختمانی

در این مرحله به منظور طبقه‌بندی از هر دو توصیف‌گرهای تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار استفاده می‌شود. داده‌های نمونه از هر کدام از کلاس‌های آوار و سالم به صورت دستی انتخاب می‌شوند. همچنین، به دلیل اینکه در تصویر ماهواره‌ای تشخیص نواحی آوار و سالم با وضوح بهتری نمایان است، داده‌های نمونه از تصویر انتخاب شده‌اند. در

جدول ۱. برخی از توصیف‌گرهای استخراج شده از ماتریس هم اتفاق

$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GLCM(i, j))^2$	انرژی	$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (i-j)^2 GLCM(i, j)$	کنتراست
$\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \{i \times j\} GLCM(i, j) - \{\mu_x \times \mu_y\}}{\sigma_x \times \sigma_y}$	وابستگی	$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{GLCM(i, j)}{1+ i-j }$	هموزنی
$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (j - \mu_j)^2 \times GLCM(i, j)$	واریانس	$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n j \times GLCM(i, j)$	میانگین
$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n i-j GLCM(i, j)$	عدم تشابه	$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n GLCM(i, j) \times \ln(GLCM(i, j))$	آنترپی

حاشیه جدا کننده بهترین طبقه بندی کننده خطی خواهد بود. در الگوریتم ماشین بردار پشتیبان مرز تصمیم گیری باید توانایی طبقه بندی درست همه نمونه‌ها را دارا باشد. طبق رابطه (۵)

$$y_i (w^T x_i + b) \geq 1 \quad (5)$$

پس مرز تصمیم گیری که توانایی طبقه بندی درست همه نمونه‌ها را دارد با حل مسئله بهینه سازی طبق رابطه (۶) محدود شده است.

$$\text{minimize} = \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (6)$$

$$y_i (w^T x_i + b) \geq 1 \quad (7)$$

حل این دسته مسائل بهینه سازی از درجه دو با استفاده از ضرایب لاگرانژ به دست می آید.

$$L(w, b, h) = \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^N h_i [y_i (w \cdot x_i + b) - 1] \quad (8)$$

در رابطه (۸) بردار ضرایب لاگرانژ است.

از رابطه بالا مشتق می گیریم. رابطه (۹)

$$\begin{cases} \frac{\delta L}{\delta w} = w - \sum_{i=1}^N h_i y_i x_i \\ \frac{\delta L}{\delta b} = \sum_{i=1}^N h_i y_i \end{cases} \quad (9)$$

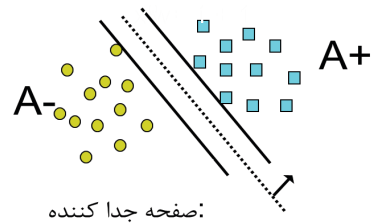
در این حالت جواب های مسئله بهینه سازی به صورت رابطه (۱۰) می باشد.

$$\begin{cases} w^* = \sum_{i=1}^N h_i y_i x_i \\ f(x) = w^* \cdot x + b^* = \sum_{i=1}^N h_i y_i x_i + b^* \end{cases} \quad (10)$$

داس و همکاران (Das, Srivastava, & Chattopadhyay, 2007)

در مسایلی که داده‌ها به صورت خطی جدا پذیر نباشند با استفاده از هسته های غیر خطی، داده‌ها را به فضای با ابعاد بیشتر نگاشت می دهیم تا بتوان آنها را در این فضای جدید به صورت خطی جدا نمود (نگاره ۳). در این روش که به آنها روش های کرنل مینا گفته می شود، نگاشت کردن داده به یک فضای بزرگتر

تمایز نمونه های کلاس های مختلف داده‌ها را بطور بهینه انجام دهد. نگاره ۲ صفحه جدا کننده برای دو نمونه کلاس را نشان می دهد. یک صفحه جدا کننده را می توان از طریق رابطه (۱) نشان داد.



نگاره ۲: صفحه جدا کننده برای دو کلاس نمونه

$$f(x) = w^T x + b \quad (1)$$

به طور کلی بی نهایت صفحه جدا کننده وجود دارد. حال مهمترین وظیفه SVM، یافتن بهترین صفحه جدا کننده اعضای دو کلاس در مجموعه داده‌ها می باشد. به منظور انتخاب بهترین صفحه جداگانه در طبقه بندی SVM از مفهوم حاشیه طبقه بندی کننده بصورت رابطه (۲) استفاده می شود.

$$m_D(f) = \frac{1}{2} \hat{w}^T (X_+ - X_-) \quad (2)$$

که در این رابطه m_D حاشیه طبقه بندی و X_+ نزدیکترین نقطه به صفحه چندگانه کلاس + و X_- نزدیکترین نقطه به صفحه چندگانه کلاس - می باشد.

در رابطه (۲) X_+ و X_- دارای فواصل مساوی a از مرز تصمیم گیری می باشند. بنابراین می توان رابطه (۳) را بصورت زیر نوشت:

$$\begin{cases} f(X_+) = w^T X_+ + b = a \\ f(X_-) = w^T X_- + b = -a \end{cases} \quad (3)$$

برای اینکه حاشیه معنادار باشد $a=1$ می باشد و از جمع دو معادله (۴):

$$m_D(f) = \frac{1}{2} \hat{w}^T (X_+ - X_-) = \frac{1}{\|w\|} \quad (4)$$

نقاطی از داده که در نزدیکترین فاصله به مرز تصمیم گیری قرار دارند را بردارهای پشتیبان می گویند. خط با ماکزیمم

که در ۱۲ ژانویه ۲۰۱۰ با قدرت هفت ریشتر اتفاق افتاد. در این زمین لرزه ۲۲۲،۵۷۰ نفر کشته، ۳۰۰،۰۰۰ نفر زخمی و ۱/۳ میلیون نفر بی خانمان شدند (USGS, 2011). روش پیشنهادی بر روی تصویر و داده لیدار بعد از زلزله سال ۲۰۱۰ از شهر پرتو پرنس (Port-au-Prince)، پایتخت کشور هایتی (Haiti)، پیاده‌سازی و ارزیابی گردید. از این داده یک بلوک ساختمانی با ابعاد ۳۰۰×۳۰۰ پیکسل شامل ۴۴ ساختمان در نظر گرفته شد که در نگاره ۴ نشان داده شده است. در این تحقیق، از تصویر ماهواره‌ای WorldView II متشکل از سه باند دارای ابعاد پیکسل ۰/۵ متر که در تاریخ ۱۶ ژانویه ۲۰۱۰ برداشت شده است به همراه داده لیدار برداشت شده در تاریخ‌های ۲۱ ژانویه ۲۰۱۰ تا ۲۷ ژانویه ۲۰۱۰ استفاده شده است. نقشه نیز، با استفاده از تصویر ماهواره‌ای قبل از زلزله در محیط GIS تهیه شد. این تصویر در ۱ اکتبر ۲۰۰۹ اخذ شده بود و در منطقه تست استفاده شده عوارض تغییری نکرده بودند. از آنجاکه، جهت ارزیابی نتایج بدست آمده از الگوریتم نیاز به نقشه تخریب دقیق می‌بود، لذا، با مشاهده چشمی تصویر قبل و بعد و مقایسه آنها با یکدیگر توسط کارشناس نقشه تخریب به صورت دستی تولید شد.

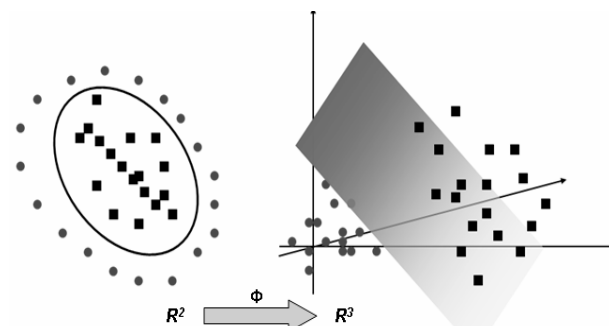
۲-۳- نتایج بدست آمده

پیاده‌سازی روش پیشنهادی در محیط MATLAB نسخه ۲۰۱۴ انجام شد و نتایج بدست آمده در ادامه مقاله از نظر خواهد گذشت.

۳-۲-۱- پیش پردازش

در این مرحله، ابتدا تصویر ماهواره‌ای از نظر کیفی با اعمال الگوریتم تعادل‌سازی هیستوگرام بهبود داده شد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، به صورت هم مختصات شده در اختیار نویسندگان مقاله قرار گرفت که با بررسی و ارزیابی چشمی انجام شده دقت هم مختصات شدن در منطقه تست در نظر گرفته شده، به صورت قابل قبول مشاهده گردید. بنابراین، در تحقیق حاضر، تأثیر خطای هم مختصات شدن در نظر گرفته نشده است.

با استفاده از یک هسته مرکزی انجام می‌شود که انتخاب هسته مرکزی بحث جدیدی در SVM می‌باشد. روش‌ها و اصول متعددی برای تعریف این هسته مرکزی معرفی شده است. این روش در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است.



نگاره ۳: نگاهت به فضای بزرگتر به منظور خطی‌سازی

در این مقاله از هر دو توصیف‌گرهای بافتی لیدار و تصویر ماهواره‌ای استفاده شده است. این امر به طور چشم‌گیری دقت طبقه‌بندی را نسبت به حالتی که تنها از یک توصیف‌گر تصویر یا لیدار استفاده می‌شود بالا می‌برد.

۲-۵- ارزیابی تخریب

بعد از طبقه‌بندی، درجه تخریب برای هر ساختمان بر اساس رابطه (۱۱) بین شمار پیکسل‌های تخریب به کل پیکسل‌ها در داخل محدوده آن ساختمان محاسبه می‌گردد.

$$\text{درجه تخریب} = \frac{\text{شمار پیکسل‌های کلاس آوار}}{\text{شمار پیکسل‌های ناحیه ساختمان}} \quad (11)$$

با محاسبه درجه تخریب و با در نظر گرفتن یک حد آستانه برای درجه تخریب می‌توان ساختمان‌ها را به دو یا چند دسته تخریب مشخص نمود. در اینجا حد آستانه ۳۰ درصد مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطوری که، ساختمان‌های بیش از ۳۰٪ آوار به عنوان ساختمان تخریب شده معرفی می‌شوند.

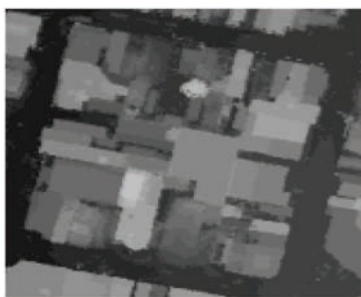
۳- پیاده‌سازی

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

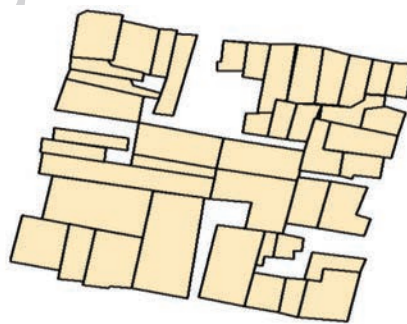
یکی از بزرگترین زمین لرزه‌های قرن ۲۱ زلزله هایتی بود

جدول ۲. ارزیابی میزان تخریب برای دو ساختمان تخریب نشده و ویران

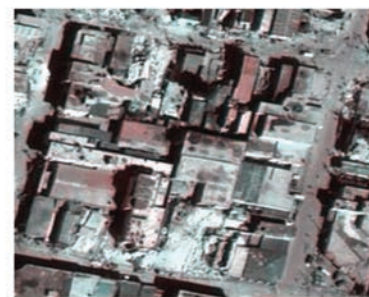
روش	ساختمان شماره ۱			ساختمان شماره ۳		
	استفاده از تصویر	استفاده از لیدار	تلفیق تصویر و لیدار	استفاده از تصویر	استفاده از لیدار	تلفیق تصویر و لیدار
محدوده ساختمان						
استخراج توصیفگر						
طبقه بندی						
درجه تخریب	۶/۹۷	۰/۰۸	۱/۱۶	۷۹/۹۰	۶۲/۶۶	۹۲/۶۴



ج



ب

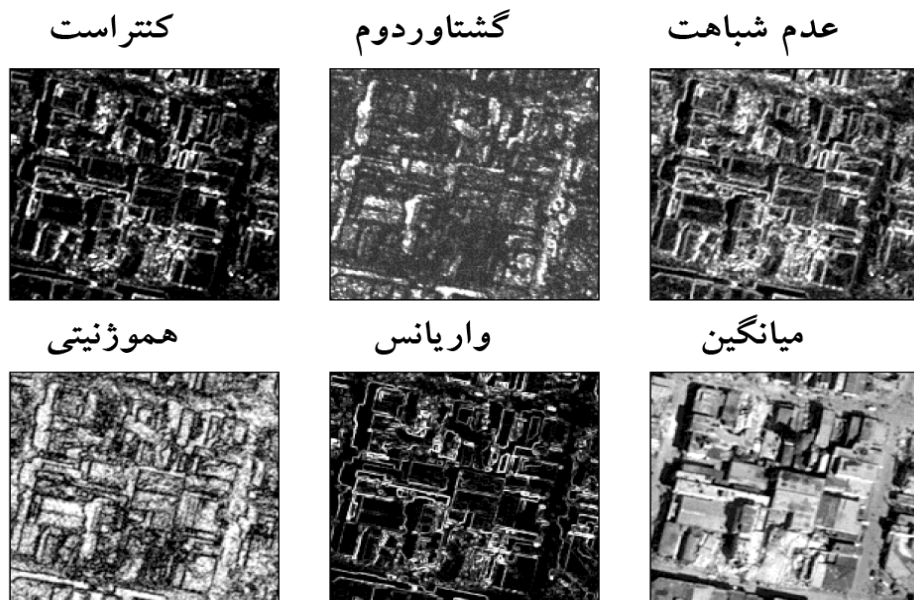


الف

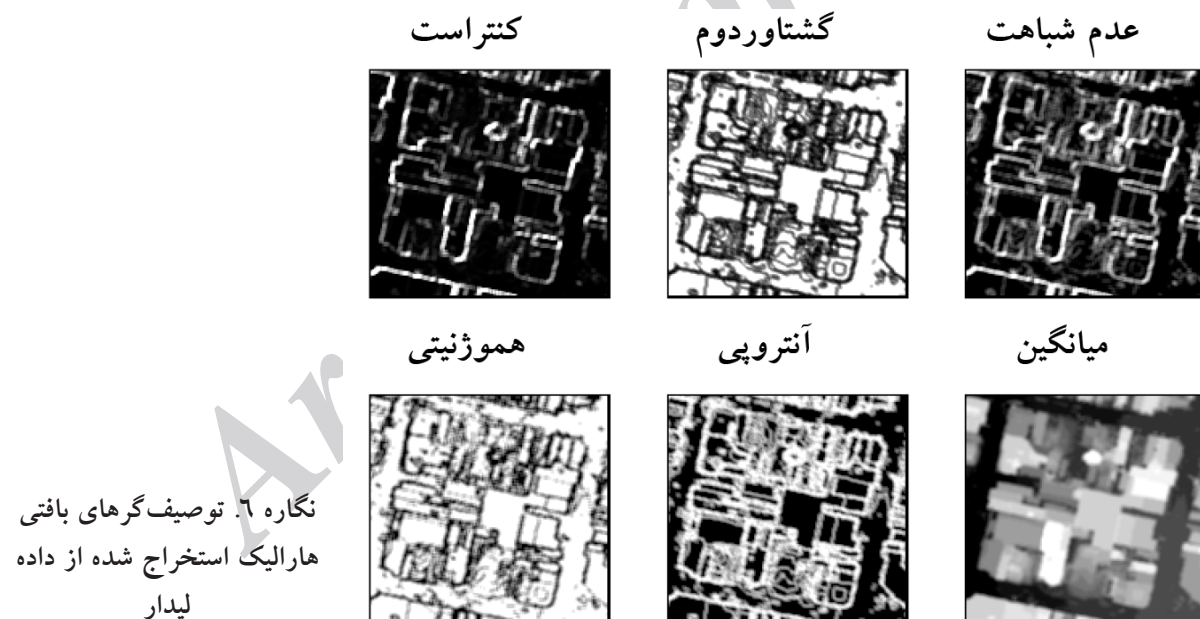
نگاره ۴: منطقه مورد مطالعه جهت تست روش پیشنهادی.

الف) تصویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا پس از زلزله، ب) لایه ساختمان‌ها در نقشه قبل از زلزله

ج) داده لیدار پس از زلزله



نگاره ۵. توصیف گرهای بافتی هارالیک استخراج شده از تصویر



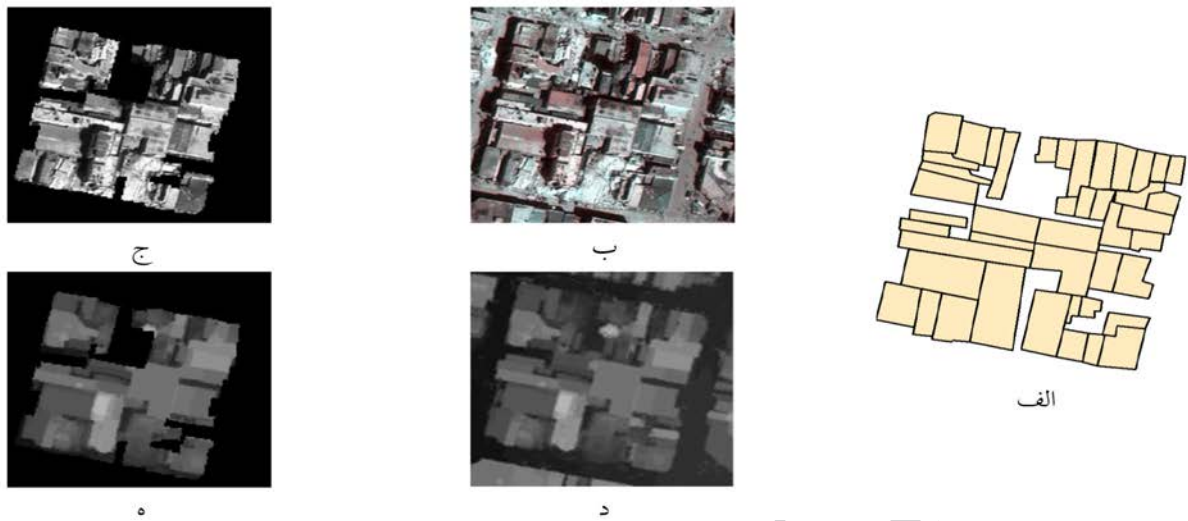
نگاره ۶. توصیف گرهای بافتی هارالیک استخراج شده از داده لیدار

جدول ۴. ماتریس خطاها مربوط به طبقه‌بندی داده لیدار

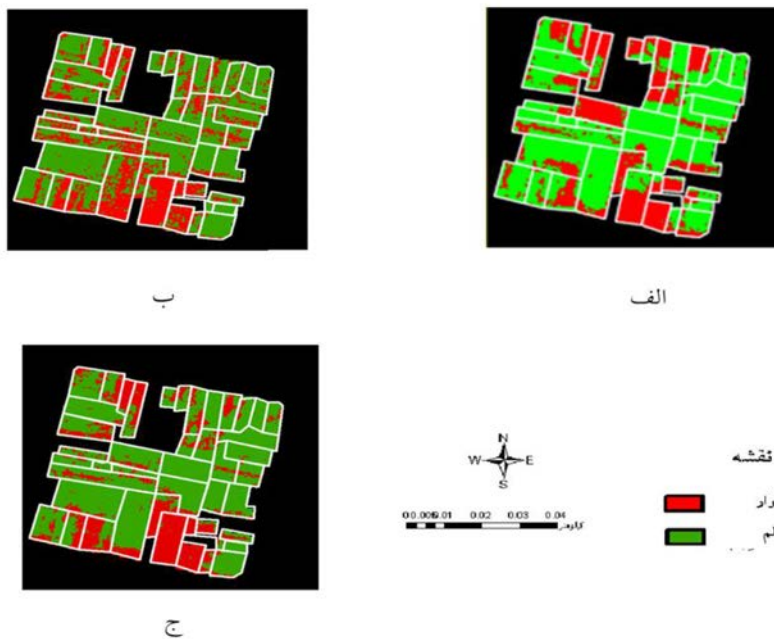
ماتریس خطا	الگوریتم	
	آوار	سالم
آوار	۳۷۸	۳
سالم	۳۳	۱۵۴
صحت کلی: ۹۴٪ کاپا: ۸۵٪		

جدول ۳. ماتریس خطاها مربوط به طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای

ماتریس خطا	الگوریتم	
	آوار	سالم
آوار	۷۴۴	۱۲۸
سالم	۱۶۰	۱۴۱۸
صحت کلی: ۸۸٪ کاپا: ۷۹٪		



نگاره ۷. الف) لایه ساختمانی استخراج شده از نقشه قبل از زلزله. ب) تصویر ماهواره‌ای بعد از زلزله ج) حذف ناحیه غیر ساختمانی از تصویر ماهواره‌ای د) داده لیدار بعد از زلزله ه) حذف ناحیه غیر ساختمانی از داده لیدار



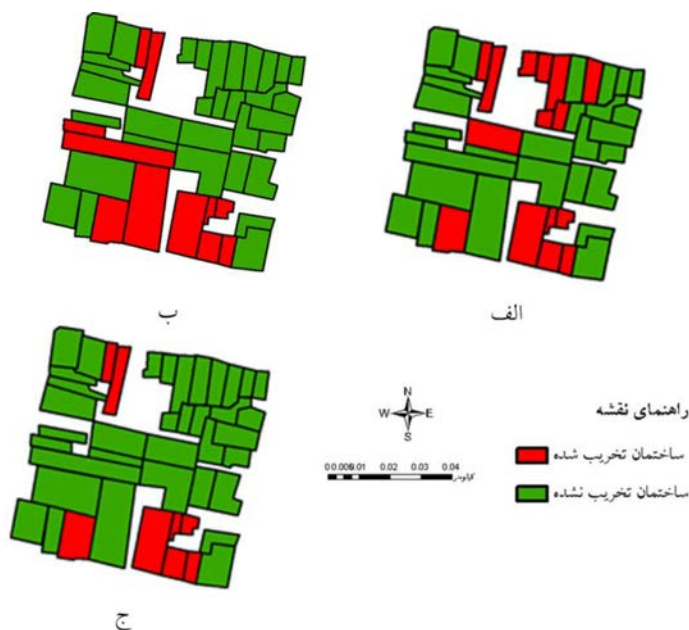
نگاره ۸. خروجی طبقه‌بندی در دو کلاس الف) خروجی طبقه‌بندی لیدار ب) خروجی طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای ج) خروجی طبقه‌بندی تلفیق لیدار و تصویر ماهواره‌ای

جدول ۵. ماتریس خطاها مربوط به طبقه‌بندی تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار

ماتریس خطا	الگوریتم	
	آوار	سالم
آوار	۱۳۰۸	۱۱۸
سالم	۴۶	۳۲۱۹
صحت کلی: ۹۷٪ کاپا: ۹۲٪		

۳-۲-۲- استخراج توصیف‌گر

جهت پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی، پس از مرحله پیش‌پردازش، می‌بایست توصیف‌گرهای بافتی هارالیک از تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار استخراج شوند. از بین توصیف‌گرهای بافتی استخراج شده از ماتریس هم‌اتفاق بهترین توصیف‌گرها از تصویر و لیدار انتخاب شد که از بین کلیه توصیف‌گرهای استخراج شده فقط شش توصیف‌گر،



نگاره ۹. نقشه تخریب در دو سطح
تخریب الف) نقشه تخریب لیدار ب)
نقشه تخریب تصویر ماهواره‌ای ج) نقشه
تخریب تلفیق لیدار و تصویر ماهواره‌ای

استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار با هم تلفیق می‌شوند؛ و طبقه‌بندی بر روی نواحی تلفیقی به دست آمده از تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار انجام می‌شود.

۳-۲-۴- طبقه‌بندی

در این مرحله طبقه‌بندی با استفاده از توصیف‌گرهای استخراج شده و با بکارگیری روش طبقه‌بندی SVM محدود و ساختمان‌ها در دو کلاس «آوار» و «سالم» طبقه‌بندی شدند. برای مقایسه بهتر روش پیشنهادی، طبقه‌بندی در سه حالت طبقه‌بندی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای، طبقه‌بندی با استفاده از داده لیدار، طبقه‌بندی با استفاده از تلفیق لیدار و تصویر، پیاده‌سازی شد. نگاره ۸ نتیجه طبقه‌بندی این سه حالت را نشان می‌دهد.

۳-۲-۵- نقشه تخریب

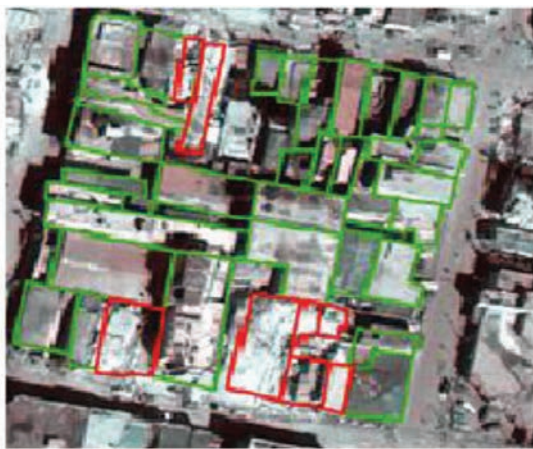
در نگاره ۱۰ نقشه تخریب بدست آمده بر مبنای حد آستانه ۳۰٪ نشان داده شده است. ساختمان‌هایی که میزان تخریب آنها بالای ۳۰٪ است به عنوان ساختمان تخریب شده و ساختمان‌هایی که میزان تخریب آنها کمتر از ۳۰٪ می‌باشد به عنوان ساختمان تخریب نشده در نظر گرفته شده است. در این نقشه، ساختمان

که تفاوت بین ساختمان‌های تخریب شده و سالم در آن‌ها به خوبی نشان داده شده بود، از تصویر و لیدار برای طبقه‌بندی انتخاب گردید، ولی چون تصویر ماهواره‌ای متشکل از سه بانده می‌باشد ۶ توصیف‌گر در هر سه بانده به عنوان توصیف‌گرهای بهینه انتخاب شده‌اند. در این انتخاب با مشاهده چشمی تصاویر بافتی صورت گرفت. در نگاره ۵ توصیف‌گرهای استخراج شده نشان داده شده‌اند.

۳-۲-۳- استخراج نواحی ساختمانی

پس از هم مختصات شدن هر دو تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار با نقشه، با کمک اطلاعات هم مختصات شده، تمامی نقاط ساختمان‌ها از نقشه بر روی تصویر و همچنین بر روی داده لیدار نگاشت شدند و سپس، تمامی پیکسل‌های مربوط به تصویر که داخل محدوده ساختمانی قرار دارند استخراج شدند. در این مرحله ناحیه ساختمانی از نواحی غیر ساختمانی از تصویر و داده لیدار حذف و طبقه‌بندی فقط بر روی ناحیه ساختمانی انجام شد، این امر باعث بالا بردن صحت طبقه‌بندی خواهد شد. نگاره‌های ۷ و ۸ نواحی استخراج شده از تصویر و لیدار را نشان می‌دهند. پس از انجام این مرحله کلیه توصیف‌گرهای بهینه

لیدار و تصویر، لیدار را نشان می‌دهد. همچنین برای نمایش بهتر ساختمان‌های تخریب شده و سالم با رنگ قرمز و سبز بر روی آن نشان داده شده است. نگاره ۱۱ از مقایسه تفسیر چشمی با نقشه تخریب به دست آمده از سه روش به کار برده شده در این مقاله جدول ۶ تعداد ساختمان‌های سالم و تخریب شده و همچنین تعداد ساختمان‌هایی که به اشتباه سالم و تخریب شده در نظر گرفته شده‌اند، نشان داده شده است.

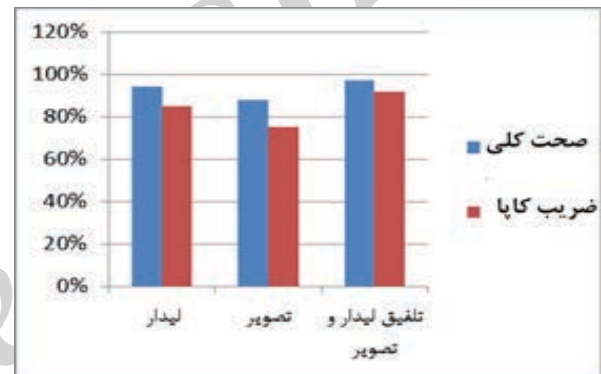


نگاره ۱۱. نمایش ساختمان‌های تخریب شده و سالم بر روی تصویر ماهواره‌ای

همان طور که در جدول مربوطه مشاهده می‌شود، روش تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار روش مناسب و صحیح به منظور تهیه نقشه تخریب می‌باشد. در این روش، تمامی ساختمان‌های تخریب شده و سالم به درستی تشخیص داده شدند. تلفیق دو داده لیدار و تصویر ماهواره‌ای در مقایسه با روش استفاده تنها از هر کدام از داده‌ها صحت بیشتری داشت. علت این امر را می‌توان در این دانست که این دو داده مکمل‌های خوبی برای یکدیگر هستند. در واقع یکی از مزایای استفاده از داده لیدار این است که به دلیل معلوم

تخریب شده با رنگ قرمز و ساختمان تخریب نشده یا سالم با رنگ سبز نمایش داده شده است.

جهت ارزیابی نقشه تخریب بدست آمده از تلفیق تصویر و لیدار نقشه تخریب با استفاده از خروجی طبقه‌بندی هر کدام از داده‌ها بصورت مستقل نیز برآورد گردید که نقشه‌های تخریب بدست آمده در نگاره ۹ نشان داده شده است. به منظور ارزیابی و مقایسه الگوریتم پیشنهادی، مراحل ارزیابی میزان تخریب برای دو ساختمان تخریب نشده و ویران را با استفاده از سه روش استفاده از تصویر ماهواره‌ای، داده لیدار و تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار در جدول ۲ نمایش داده شده است.



نگاره ۱۰: مقایسه دقت کلی و ضریب کاپا برای سه روش به کار برده شده در این تحقیق

۴- ارزیابی نتایج

به منظور ارزیابی نتیجه طبقه‌بندی از ماتریس خطا استفاده می‌شود. این ماتریس با استفاده از داده چک و مقایسه آن با نتایج طبقه‌بندی ایجاد می‌شود. ماتریس خطا برای هر سه حالت نیز نشان داده شده است. همچنین صحت کلی و ضریب کاپا برای این سه حالت در نگاره ۱۰ نمایش داده شده است. به منظور ایجاد داده مرجع تمامی ساختمان‌های موجود در منطقه تست بصورت مشاهده چشمی و با استفاده از تصویر ماهواره‌ای ارزیابی شدند و نقشه تخریب منطقه بدست آمد. این نقشه که در نگاره ۱۱ نشان داده شده است جهت برآورد صحت الگوریتم پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۶ نتیجه مقایسه این نقشه تخریب با نقشه تخریب بدست آمده از هر کدام از سه حالت تصویر،

جدول ۶: مقایسه سه روش به کار برده شده در این مقاله با تفسیر چشمی

روش	تعداد ساختمان‌های سالم	تعداد ساختمان‌های تخریب شده	تعداد ساختمان‌های که اشتباه سالم در نظر گرفته شده است	تعداد ساختمان‌های که اشتباه تخریب شده در نظر گرفته شده است
تصویر ماهواره‌ای	۳۳	۱۱	۳	۳
داده لیدار	۲۹	۱۵	۷	۷
تلفیق تصویر ماهواره‌ای و لیدار	۳۶	۸	۰	۰
تفسیر چشمی	۳۶	۸	۰	۰

نگاره ۱۲ ساختمان‌هایی که به اشتباه در دو روش استفاده از تصویر و استفاده از لیدار طبقه‌بندی شده‌اند را نشان می‌دهد. با توجه به تصویر، ساختمانی که با رنگ زرد نمایش داده شده است، ساختمان تخریب نشده‌ای است که در داده لیدار به دلیل تغییرات ارتفاعی به اشتباه به عنوان تخریب شده در نظر گرفته شده است. در حالی که این ساختمان در روش استفاده از تصویر ماهواره‌ای به درستی تشخیص داده شده است. ساختمانی که با رنگ قرمز نمایش داده شده است، ساختمان تخریب نشده‌ای است که در روش استفاده از تصویر ماهواره‌ای به دلیل تغییرات طیفی این ساختمان به اشتباه به عنوان ساختمان تخریب شده در نظر گرفته شده است، با وجود اینکه در روش استفاده از داده لیدار به درستی طبقه‌بندی شده است.

جدول ۷ مقایسه دو روش استفاده از تصویر و استفاده از لیدار در این دو ساختمان را نشان می‌دهد. همانطور که از جدول ۷ مشاهده می‌شود اختلاف زیادی بین درجات تخریب بدست آمده برای هر کدام از ساختمان‌ها در دو حالت استفاده از لیدار و تصویر وجود دارد. این در حالی است که هر دو ساختمان در نقشه تخریب تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار (نگاره ۹-الف) به درستی تشخیص داده شده است و این توانمندی الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

جدول ۸ صحت روش‌های ارزیابی خسارت به ساختمان در منطقه هایتی را نمایش می‌دهد. با توجه به این جدول دقت روش پیشنهادی با روش‌های به کار برده شده در مقالات دیگر قابل مقایسه می‌باشد. انتخاب توصیف‌گرهای مناسب، داده آموزشی درست و حذف عوارض غیر

بودن اطلاعات ارتفاعی باعث می‌شود ساختمان‌هایی که کاملاً نشست کرده‌اند به درستی تشخیص داده شوند. در حالیکه به دلیل نامعلوم بودن اطلاعات طیفی در داده لیدار، بعضی از ساختمان‌های تخریب شده به درستی تشخیص داده نشده‌اند. از طرف دیگر، در تصویر ماهواره‌ای به دلیل معلوم بودن اطلاعات طیفی ساختمان‌های تخریب شده به درستی تعیین شده است ولی چون اطلاعات ارتفاعی نامعلوم است بخش‌هایی از ساختمان که کاملاً نشست کرده و سقف آن سالم مانده در تصویر قابل تشخیص نمی‌باشد. به این دلیل استفاده از تلفیق لیدار و تصویر ماهواره‌ای در کنار هم می‌تواند روش مناسبی برای تولید نقشه تخریب باشد.

تعیین میزان تخریب ساختمان‌های تخریب شده ناشی از زلزله یک مسئله حیاتی برای عملیات نجات و امداد رسانی می‌باشد. لذا، انجام پردازش‌های مورد نیاز باید از سرعت بالایی برخوردار باشد تا امداد رسانی سریع در منطقه انجام شود. اگر چه روش استخراج نقشه تخریب با مشاهده چشمی می‌تواند خروجی دقیقی ارائه دهد، اما یکی از مهمترین مشکلات این روش که سرعت کم آن است در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت. در اینجا، تهیه نقشه تخریب به صورت دستی برای منطقه تست در ۲۹ دقیقه انجام شد. در حالی که همان منطقه با یک رایانه دارای CPU دو هسته ای و رم ۲ گیگابایتی با روش پیشنهادی در ۱۷۹ ثانیه پردازش شد. لازم به ذکر است که با افزایش ابعاد منطقه زمان پردازش روش پیشنهادی مانند روش مشاهده چشمی طولانی‌تر خواهد شد که البته با استفاده از سخت-افزار بهتر می‌توان آن را به حداقل زمان ممکن رساند.

جدول ۷. ارزیابی میزان تخریب برای دو ساختمان که در استفاده از روش تصویر و لیدار به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند.

شماره ساختمان	(۷)		(۱۴)	
	استفاده از تصویر	استفاده از لیدار	استفاده از تصویر	استفاده از لیدار
محدوده ساختمان				
ناحیه ساختمان				
طبقه‌بندی				
درجه تخریب	۴۷/۵۴	۱۸/۷۸	۷/۸	۸۹/۶۸



ساختمان سالمی که در داده لیدار به دلیل تغییرات ارتفاعی به اشتباه به عنوان تخریب شده در نظر گرفته شده است.

ساختمان سالمی که در تصویر ماهواره‌ای به دلیل تغییرات طیفی به اشتباه به عنوان تخریب شده در نظر گرفته شده است.

نگاره ۱۲. ارزیابی نقشه تخریب به دست آمده از تصویر ماهواره‌ای

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق نسبت به ارائه و پیاده‌سازی یک روش تعیین میزان تخریب ساختمان‌های تخریب شده ناشی از زلزله، با استفاده از تلفیق تصویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا و داده لیدار بعد از زلزله به همراه نقشه قبل از زلزله اقدام گردید. همچنین برای ارزیابی این روش، نقشه تخریب بدست آمده با دو حالت استفاده تنها از تصویر ماهواره‌ای و روش استفاده تنها از داده لیدار مقایسه شده و در حالت تلفیق داده‌ها نتیجه بهتری حاصل گردید.

روش طبقه‌بندی SVM به منظور طبقه‌بندی محدوده

ساختمانی از داده تست و بعلاوه از همه مهم‌تر تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار را می‌توان از دلایل توانمند بودن روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر دانست.

جدول ۸: صحت کلی روش‌های موجود در منطقه هایتی

روش	سال	صحت کلی	ضریب کاپا
راستی و همکاران (۱۸)	۲۰۱۵	%۹۱/۵۹	%۷۱/۶۱
ریچارد لیبک (۱۳)	۲۰۱۱	%۷۳/۴۰	%۲۷/۵
دنیل هجا (۱۱)	۲۰۱۳	%۹۱/۱	
پارال هاد یوپرتی (۲۷)	۲۰۱۲	%۷۳/۸	
میورا (۱۷)	۲۰۱۲	%۷۰	

توصیف‌گرهای بهینه می‌توان از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم ژنتیک استفاده کرد. استفاده از داده‌های آموزشی به صورت دستی توسط شخص خبره و بر اساس مشاهده و تجربه، اعتمادپذیری الگوریتم را بالا می‌برد. هرچند که این امر باعث کاهش سرعت اتوماسیون روش می‌شود. به منظور بالا بردن سطح اتوماسیون این الگوریتم، پیشنهاد می‌شود روشی جهت جمع‌آوری اتوماتیک داده‌های آموزشی با استفاده از اطلاعات نقشه و تصویر ارائه کرد. همچنین، به منظور ارزیابی بهتر الگوریتم به کار برده شده در این تحقیق، پیشنهاد می‌شود از داده‌های تست دیگر استفاده شود. در این تحقیق، با توجه به دقت مطلوب هم مختصات بودن داده‌ها، تأثیر این خطا بر روی نتایج نادیده گرفته شده است. بررسی و ارزیابی نسبت تأثیر این خطا بر روی نتایج در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد.

منابع و مآخذ

۱. جانعلی پور، م.، محمدزاده، ع. ۱۳۹۳. تعیین میزان تخریب ساختمان‌ها پس از زلزله با به کارگیری مدل ANFIS و تصاویر سنجنش از دوری. دوفصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، ۷: ۷۹-۹۱.
 ۲. رنجبر، ح.، اردلان، ع.، دهقانی، ح.، سراجیان، م.، علیدوستی، ع. ۱۳۹۳. تسهیل فاز واکنش مدیریت بحران زلزله با استخراج خودکار ساختمان‌ها بر مبنای آنالیز بافت از تصاویر ماهواره‌ای. دوفصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، ۵: ۵-۱۹.
 ۳. رنجبر، ح.، اردلان، ع.، دهقانی، ح.، سراجیان، م.، علیدوستی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی روش‌های استخراج اطلاعات فیزیکی ساختمان‌های تخریب شده ناشی از زلزله و ارائه الگوریتمی بر پایه لایه‌های GIS و سنجنش از دور. فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۳(۹۱): ۲۱-۴۲.
4. Das, S., Srivastava, A. N., & Chattopadhyay, A. (2007). Classification Of Damage Signatures In Composite Plates Using One-Class Svms. Paper Presented At The Aerospace Conference, 2007 Ieee.

ساختمان‌ها استفاده شد که در روش تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار صحت کلی ۹۷٪ و ضریب کاپا ۹۲٪ و در روش استفاده از تصویر ماهواره‌ای صحت کلی ۸۸٪ و ضریب کاپا ۷۹٪ و در روش استفاده از داده لیدار صحت کلی ۹۴٪ و ضریب کاپا ۸۵٪ گزارش شد. انتخاب توصیف‌گرهای مناسب، داده آموزشی درست و حذف عوارض غیر ساختمانی از داده تست و به علاوه از همه مهمتر تلفیق تصویر ماهواره‌ای و داده لیدار را می‌توان از دلایل به دست آمدن این صحت دانست. همچنین نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که این الگوریتم در تشخیص بین ساختمان‌های سالم و آسیب‌دیده بسیار کارا است. در این روش تمامی ساختمان‌های تخریب شده و سالم به درستی تشخیص داده شدند. این روش نسبت به روش استفاده تنها از تصویر ماهواره‌ای و استفاده تنها از داده لیدار صحت بیشتری داشت. علت این امر را می‌توان در این دانست که این دو داده مکمل‌های خوبی برای یکدیگر هستند. در واقع از مهمترین دلایل توانمند بودن الگوریتم پیشنهادی استفاده همزمان اطلاعات ارتفاعی و طیفی در مرحله طبقه‌بندی می‌باشد که این اطلاعات باعث افزونگی صحت طبقه‌بندی می‌شود. یکی از مزیت‌های الگوریتم پیشنهادی، استفاده از نقشه قبل از زلزله می‌باشد که این امر باعث مشخص شدن موقعیت هر ساختمان بر روی تصویر و لیدار می‌باشد، بعلاوه با استخراج ناحیه ساختمان از تصویر و لیدار، تمامی نقاط خارج از محدوده ساختمان‌ها حذف می‌شود و در مرحله طبقه‌بندی فقط نقاط استخراج شده داخل محدوده ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که این امر باعث بالا رفتن دقت طبقه‌بندی می‌شود.

در این تحقیق تنها توصیف‌گرهای بافتی مورد استفاده قرار گرفته است و این توصیف‌گرها از میان توصیف‌گرهای مختلف بافتی به صورت چشمی انتخاب شده‌اند. پیشنهاد می‌شود که از سایر توصیف‌گرهای بافتی دیگر نظیر گابور، سمیوار یوگرام، فرکتال و توصیف‌گرهای مبتنی بر تبدیل حوزه فرکانس استفاده شود. همچنین، به منظور انتخاب

- & Grussenmeyer, P. (2008). Contribution Of Two Plane Detection Algorithms To Recognition Of Intact And Damaged Buildings In Lidar Data. *The Photogrammetric Record*, 23(124), 441-456.
16. Samadzadegan, F., Valadan Zoj, M. J. V., & Moghaddam, M. K. (2010). Fusion Of Gis Data And High-Resolution Satellite Imagery For Post-Earthquake Building Damage Assessment.
17. 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 Erciy Earthquake. *European Journal Of Remote Sensing-2014*, 47, 627-642.
18. Tian, J., Nielsen, A. A., & Reinartz, P. (2015). Building Damage Assessment After The Earthquake In Haiti Using Two Post-Event Satellite Stereo Imagery And Dsms. *International Journal Of Image And Data Fusion(Ahead-Of-Print)*, 1-15.
19. Tong, X., Hong, Z., Liu, S., Zhang, X., Xie, H., Li, Z., Et Al. (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.
20. Trinder, J., & Salah, M. (2012). Aerial Images And Lidar Data Fusion For Disaster Change Detection. *Isprs Annals Of Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, 1, 227-232.
21. Turker, M., & Cetinkaya, B. (2005). Automatic Detection Of Earthquake Damaged Buildings Using Dems Created From Pre And Post Earthquake Stereo Aerial Photographs. *International Journal Of Remote Sensing*, 26(4), 823-832.
22. Usgs. (2011). Post- Disaster Building Damage Assessment Using Satellite And Aerial Imagery Interpretation, Field Verification And Modeling Techniques.
23. S.O. Hashemi-Parast, F. Yamazaki, And M. Estrada. (2016). Monitoring And Evaluation Of The Urban Reconstruction Process In Bam, Iran, After The 2003 Mv 6.6 Earthquake, *Natural Hazards*, Pp. 1-17.
5. 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.
6. Gamba, P., & Casciati, F. (1998). Gis And Image Understanding For Near-Real-Time Earthquake Damage Assessment. *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*, 64, 987-994.
7. Guo, H., Liu, L., Lei, L., Wu, Y., Li, L., Zhang, B., Et Al. (2010). Dynamic Analysis Of The Wenchuan Earthquake Disaster And Reconstruction With 3-Year Remote Sensing Data. *International Journal Of Digital Earth*, 3(4), 355-364.
8. Joachims, T. (2002). *Introduction To Support Vector Machines*: Cambridge University Press, Cambridge.
9. Labiak, R. C., Van Aardt, J. A. N., Bepalov, D., Eychner, D., Wirch, E., & Bischof, H.-P. (2011). Automated Method For Detection And Quantification Of Building Damage And Debris Using Post-Disaster Lidar Data. Paper Presented At The Spie Defense, Security, And Sensing.
10. Li, M., Cheng, L., Gong, J., Liu, Y., Chen, Z., Li, F., Et Al. (2008). Post-Earthquake Assessment Of Building Damage Degree Using Lidar Data And Imagery. *Science In China Series E: Technological Sciences*, 51(2), 133-143.
11. Maruyama, Y., Tashiro, A., & Yamazaki, F. (2011). Use Of Digital Surface Model Constructed From Digital Aerial Images To Detect Collapsed Buildings During Earthquake. *Procedia Engineering*, 14, 552-558.
12. Menderes, A., Erener, A., & Sarp, G. L. (2015). Automatic Detection Of Damaged Buildings After Earthquake Hazard By Using Remote Sensing And Information Technologies. *Procedia Earth And Planetary Science*, 15, 257-262.
13. Rastiveis, H., Eslamzade, F., & Hosseini-Zirdoo, E. (2015). Building Damage Assessment After Earthquake Using Post-Event Lidar Data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XI-1-W5, 595-600.
14. Rastiveis, H., Samadzadegan, F., & Reinartz, P. (2013). A Fuzzy Decision Making System For Building Damage Map Creation Using High Resolution Satellite Imagery. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 13(2), 455.
15. Rehor, M., Bahr, H. P., Tarsha Kurdi, F., Landes, T.,