The 2nd National Conference on
Geospatial Information Technology (NCGIT)

K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering

18 January 2017

دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ دی ماه ۱۳۹۵

# تشخیص ساختمان‌های بازسازی شده پس از زلزله با استفاده از داده‌های سنجش از دوری

**فائزه اسلامی‌زاده[۱]، حیدر راستی‌ویس[۲*]**

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
۲- استادیار گروه فتوگرامتری دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده فنی ، دانشگاه تهران

**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. بررسی روند نوسازی ساختمان‌ها پس از زلزله نیز بسیار مورد توجه مدیران بحران مخصوصا در فاز بازسازی می‌باشد. هدف از این مقاله، ارائه یک روش به منظور شناسایی ساختمان‌های بازسازی‌شده پس از زلزله می‌باشد. در سال ۲۰۱۰ زلزله عظیمی در شهر پرتوپرنس، پایتخت هایتی، رخ داد که خسارات و تلفات زیادی را برجای گذاشت. در این مقاله به تهیه نقشه تغییرات و نوسازی در این منطقه پرداخته شده است. در این تحقیق، با استفاده از تصویر ماهواره‌ای بعد از زلزله که در سال ۲۰۱۶ اخذ شده به همراه نقشه تخریب میزان تغییرات ساختمان‌ها تعیین می‌شود. در روش پیشنهادی، پس از پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصویر ماهواره‌ای، طبقه‌بندی بر روی این تصویر با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان انجام می‌شود. سپس با استفاده از همپوشانی لایه ساختمان‌ها بر روی نتیجه طبقه‌بندی به دست آمده از تصویر ماهواره‌ای ۲۰۱۶، تغییرات هر ساختمان ارزیابی و ساختمان‌های بازسازی شده شناسایی می‌شوند. صحت کلی به دست آمده از نتیجه طبقه‌بندی ۷۷/۴٪ و ضریب کاپا ۵۷/۲۲٪ می‌باشد. . نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بیشتر نواحی که تخریبات کمی داشته نوسازی شده‌اند. در حالیکه نواحی که تخریبات شدیدی داشته‌اند با وجود فرآیند نوسازی به صورت زمین خالی باقی مانده‌اند.

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

**نویسنده مکاتبه کننده :** حی‌در راستی‌ویس
**آدرس پستی :** خیابان کارگر شمالی، بالاتر از جلال آل احمد، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی
**تلفن :** ۰۲۱-۶۱۱۱۴۵۲۶
**آدرس پست الکترونیک :** hrasti@ut.ac.ir

## ۱- مقدمه

بلایای طبیعی، اتفاقاتی هستند که بشر از آغاز پیدایش زمین با آن‌ها روبه رو شده است. این رویدادها، توانایی مرگ و میر فراوان انسان‌ها و از بین بردن زمین‌ها و مکان‌های مختلف را دارند. در این بین شاید بتوان زلزله را به عنوان غم‌انگیز و مخوف‌ترین مخاطره طبیعی قلمداد کرد؛ به ویژه این که تعداد زیادی از کشورهای جهان سوم در معرض آن قرار دارند.

متاسفانه، 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[۱]. در ایران نیز، متاسفانه، شاهد زلزله‌های مرگبار زیادی مانند زلزله سال ۱۳۸۲ بم[۲]، زلزله سال ۱۳۹۲ آذربایجان شرقی بوده‌ایم که باعث کشته‌شدن تعداد زیادی از هموطنان شده‌اند. بر خلاف پیشرفت‌های بسیار، بشر هنوز نتوانسته است روشی صحیح و کارآمد به‌منظور پیش‌بینی به‌هنگام زلزله ارائه دهد.

به‌طور کلی به فعالیت‌های سازمان‌یافته جهت برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری و تشخیص منابع انسانی و همچنین مواد و تجهیزات به بخش‌های مختلف سازمان در زمان وقوع بحران، مدیریت بحران می‌گویند که خود از چهار فاز کاهش اثر فاجعه، آمادگی، واکنش و بازسازی تشکیل می‌شود که در این مقاله به تهیه نقشه بازسازی و اطلاعات آماری نوسازی ساختمان‌ها در فاز بازسازی پداخته شده است. بازسازی، شامل مجموعه اقداماتی برای بازگرداندن حداقل امکانات و استانداردهای زیستی برای پرسنل و ناحیه فاجعه دیده و انجام اقدامات بلند مدت برای بازگرداندن شرایط به حالت عادی یا بهتر از آن می‌باشد.

هدف از این تحقیق، ارائه یک روش به منظور تعیین نقشه تغییرات و نوسازی ساختمان‌ها می‌باشد. در این راستا، تصویر ماهواره‌ای ۲۰۱۶ به همراه نقشه تخریب به دست آمده از زلزله استفاده می‌شود. برای این منظور در ادامه روش‌های موجود تهیه نقشه نوسازی با استفاده از تصویر مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. سپس روش پیشنهادی به کار برده شده در این مقاله جهت تولید نقشه تغییرات و نوسازی بیان شده است. در نهایت روش پیشنهادی ارزیابی و پیاده‌سازی شده است.

### ۱-۲- مروری بر تحقیقات گذشته

امید هاشمی‌پرست و همکاران(۲۰۱۶)، به آنالیز فرآیند نوسازی در بم پرداختند. در این مقاله به‌منظور 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 می‌شود. دوم، استفاده از عکس‌های سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ برای به دست آوردن تغییرات در شهر می‌باشد. سوم، تحلیل سه تصویر ماهواره‌ای از منطقه بم، که تصویر اول سه ماه قبل از زلزله اخذ شده و تصویر دوم، بعد از زلزله می‌باشد و در نهایت به‌منظور ارزیابی فرآیند نوسازی و تغییرات زمین از تصویر سوم که هشت سال بعد از حادثه گرفته شده استفاده می‌شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بیشتر نواحی که تخریبات جزئی داشته نوسازی شده‌اند. در حالیکه نواحی که تخریبات شدیدی داشته‌اند با وجود فرآیند نوسازی به صورت زمین خالی باقی مانده‌اند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که پروسه نوسازی ساختمان‌ها در دو تا سه سال اتفاق افتاده است. این نشان می‌دهد که سرعت و پیشرفت پروژه‌های بازسازی قابل قبول می باشد و این پروژه در مقایسه با پروژه‌های بازسازی دولتی قبلی پیشرفت بیشتری داشته است. علاوه بر این، با مقایسه مصالح ساختمانی و انواع سازه‌ها قبل و بعد از زلزله نشان می‌دهد که کیفیت سازه‌های ساختمانی در حال بهبود می‌باشد[۳].

تومویو هوشی و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی تغییرات بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ در پیسکو، پرو که در زلزله ۲۰۰۷ تخریبات زیادی را به بار آورد پرداختند. برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای بدست آمده بین سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ و ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ استفاده شده است. پس از تحلیل پنج سال فرآیند ترمیم با مقایسه با تفسیر بصری به‌دست آمده از تصویر ماهواره‌ای دقت ۷۱.۲٪ برای مناطق شهری به‌دست آمده و همچنین پیشرفت ساختمان‌ها ۶۰٪ می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای ابزار مفیدی برای کنترل و درک فرآیند ترمیم مناطق شهری بعد از حادثه می باشد[۴].

گولکن سارپ و همکاران (۲۰۱۴)، با استفاده از تصاویر اورتوفتو و ابر نقاط که از تناظریابی داده‌های استریو به‌دست می آید به تغییرات ساختمان‌ها در زلزله ون اریکس[1] در ترکیه پی‌بردند[۱۷]. روش پیشنهادی آن‌ها شامل سه بخش می باشد مرحله اول، طبقه‌بندی تصاویر اورتوفتو رنگی[2] قبل و بعد با استفاده از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان[3] می باشد. مرحله دوم تولید nDSM (مدل رقومی نرمال شده سطح)[4] که با استفاده از ابر نقطه و DTM (مدل رقومی زمین)[5] ایجاد می‌شود. در واقع DSM (مدل رقومی سطح)[6] منطقه با استفاده از تصاویر استریو هوایی به دست می آید و DTM منطقه با استفاده از خطوط کنتور توپوگرافی تولید می‌شود. سپس nDSM از اختلاف DTM و DSM ایجاد می‌شود. در نهایت ارزیابی ساختمان‌های تخریب شده و ساختمان‌های بازسازی شده که از مقایسه بین دو نتیجه طبقه‌بندی داده قبل و بعد محاسبه می‌شود، پرداختند[۵].

جیاجیو تیان و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از تصویر ماهواره‌ای بعد از زلزله و DSM در هایتی به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداختند. در این تحقیق سه تغییر مورد بررسی قرارگرفته است: ۱- ساختمان‌های تخریب شده ۲- ساختمان‌های بازسازی شده ۳- پناهگاه‌های موقتی. روش پیشنهادی در این مقاله شامل سه مرحله می باشد: در مرحله اول با استفاده از DSM اورتوفتو تهیه می‌شود، در مرحله دوم تصویر پانکروماتیک به ناحیه‌های همگن تقسیم می‌شود، و در نهایت با استفاده از روش IR-MAD [7] طبقه‌بندی انجام و ارتفاع‌های استخراج شده از هر سه نوع تغییر به‌دست می‌آید[۶].

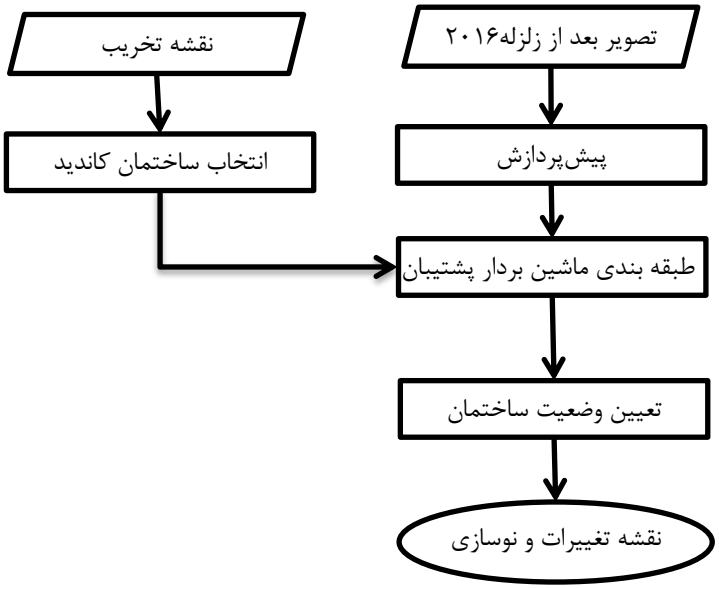
اسامو مراوو و همکاران (۲۰۱۲)، به نظارت بر فرآیند ترمیم در پیسکو که در سال ۲۰۰۷ زلزله عظیمی رخ داد پرداختند. این مقاله شامل سه مرحله می‌باشد. ۱) نقشه‌برداری زمینی در مناطق شهری به خصوص در محیط‌های فیزیکی که در سال ۲۰۱۲ انجام شده است. ۲) موقعیت‌های ترمیم در مقایسه با موقعیت‌های تخریب که توسط CISMID بعد از زلزله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ترمیم داده ساختمانی به دست آورده می‌شود. ۳) ترمیم بعد از زلزله که از تحلیل کمی به دست آورده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که ۹۳/۲٪ از ساختمان‌های که به شدت تخریب شده‌اند دوباره ساخته شده‌اند[۷].

در این تحقیق نیز، به ارائه یک روش به منظور تعیین نقشه تغییرات و نوسازی ساختمان‌ها می‌پردازد، که در ادامه مقاله جزئیات ان از نظر خواهد گذشت.

1 Van Erciş
2 RGB
3 SVM
4 Normalized DSM
5 Digital Terrain Model
6 Digital Surface Model
7 iteratively reweighted multivariate alteration detection

## ۲- روش پیشنهادی

در این تحقیق، با استفاده از تصویر ماهواره‌ای بعد از زلزله که در سال ۲۰۱۶ اخذ شده به همراه نقشه تخریب میزان تغییرات ساختمان‌ها محاسبه و نقشه تغییرات و نوسازی تعیین می‌شود. در روش پیشنهادی، پس از پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصویر ماهواره‌ای، طبقه‌بندی بر روی این تصویر با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان انجام می‌شود. سپس با استفاده از همپوشانی لایه ساختمان‌ها بر روی نتیجه طبقه‌بندی به دست آمده از تصویر ماهواره‌ای ۲۰۱۶ تغییرات هر ساختمان ارزیابی و ساختمان‌های بازسازی شده شناسایی می‌شوند. شکل (۱) فلوچارت روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.




**شکل ۱: فلوچارت روش پیشنهادی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای بعد از زلزله**

### ۲-۱- پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌ها

در روش پیشنهادی، برای محاسبات بهتر و دقیق‌تر، قبل از پردازش‌های اصلی بر روی تصویر، یک مرحله پیش‌پردازش بر داده خام انجام می‌گیرد. الگوریتم بهبود کیفیت تصویر تعادل‌سازی هیستوگرام برای افزایش قدرت تفکیک طیفی، اعمال می‌گردد[۲]. پس از طی مراحل بهبود تصویر، با نقشه هم مختصات می‌شود.در این تحقیق تصویر ماهواره‌ای وردویو (WorldView) متشکل از سه باند که دارای توان تفکیک مکانی ۰/۵ متر می‌باشد. این تصویر در سال ۲۰۱۶ گرفته شده است.

### ۲-۲- طبقه‌بندی ناحیه ساختمانی

در این مرحله داده نمونه از هر کدام از کلاس‌های ساختمان، راه، درخت به صورت دستی انتخاب می‌شوند. در اینجا، ۷۰ درصد از داده‌ها به عنوان داده آموزشی جهت طراحی طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان و ۳۰ درصد از داده ها 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 ماشین بردار پشتیبان این نقاط به سه کلاس ساختمان، راه، درخت طبقه‌بندی می‌شوند.

### ۲-۲-۱- طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان

ماشین‌های بردار پشتیبان یکی از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده خطی می‌باشند[۸]. به طور کلی، طبقه‌بندی کننده‌های خطی بر این مبنا استوار هستند که در آن‌ها هر نمونه ورودی به یکی از دو کلاس ۱+ و ۱- طبقه‌بندی می شود[۹].

$$w^T x = \sum w_i x_i$$ رابطه (۱)

$$f(x) = w^T x + b$$ رابطه (۲)

که در این رابطه w بردار وزن می‌باشد و b بایاس است. این رابطه صفحه را به دو قسمت تقسیم می‌کند تا به این طریق مرز بین دو کلاس را مشخص کند. مرز بین نواحی را مرز تصمیم‌گیری گویند. مسئله اصلی این است که این مرز کجا باشد یعنی بی‌نهایت صفحه جدا کننده خواهیم داشت[۹].

به منظور انتخاب بهترین صفحه جداگانه در طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان از مفهوم حاشیه طبقه‌بندی کننده استفاده می‌شود(رابطه (۱)).

$$m_D(f) = \frac{1}{2}\hat{w}^T (X_+ - X_-)$$ رابطه (۳)

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 – می‌باشد.

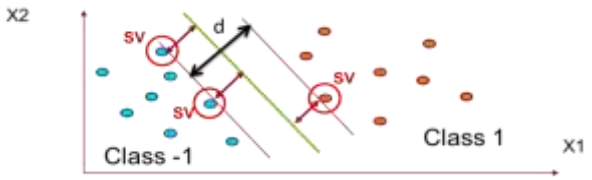
در این رابطه $X_+$ و $X_-$ دارای فواصل مساوی a از مرز تصمیم‌گیری می‌باشند.

$$f(X_+) = w^T X_+ + b = a$$
$$f(X_-) = w^T X_- + b = -a$$ رابطه (۴)

برای اینکه حاشیه معنادار باشد a=1 می‌باشد و از جمع دو معادله بالا خواهیم داشت:

$$m_D(f) = \frac{1}{2}\hat{w}^T (X_+ - X_-) = \frac{1}{\|w\|}$$ رابطه (۵)

نقاطی از داده که در نزدیکترین فاصله به مرز تصمیم‌گیری قرار دارند را بردارهای پشتیبان می‌گویند. خط با ماکزیمم حاشیه جدا کننده بهترین طبقه‌بندی کننده خطی خواهد بود. شکل (۲) بردارهای پشتیبان و خط جدا کننده دو کلاس را نشان می‌دهد.




**شکل ۲: بردارهای پشتیبان برای دو کلاس**

رابطه (۶)
$$y_i(w^T x_i + b) \geq 1$$

پس مرز تصمیم‌گیری که توانایی طبقه‌بندی درست همه نمونه‌ها را دارد با حل مسئله بهینه‌سازی محدود شده است.

رابطه (۷)
$$\min imize = \frac{1}{2}\|w\|^2$$

رابطه (۸)
$$y_i(w^T x_i + b) \geq 1$$

حل این دسته مسائل بهینه‌سازی از درجه دو با استفاده از ضرایب لاگرانژ به‌دست می‌آید.

رابطه (۹)
$$L(w,b,h) = \frac{1}{2}\|w\|^2 - \sum_{i=1}^{N} h_i\left[y_i(w.x_i + b) - 1\right]$$

در این رابطه $h_i$ بردار ضرایب لاگرانژ است.

از رابطه بالا مشتق می‌گیریم و در نهایت بهترین جواب‌های مسئله بهینه‌سازی به صورت زیر می‌باشد[۸].

رابطه (۱۰)
$$\begin{cases} w^* = \sum_{i=1}^{N} h_i y_i x_i \\ f(x) = w^*.x + b^* = \sum_{i=1}^{N} h_i y_i x_i + b^* \end{cases}$$

### ۲-۳- تعیین وضعیت هر ساختمان

پس از هم مختصات شدن تصویر و نقشه در مرحله پیش‌پردازش، موقعیت هر نقطه از نقشه به آسانی بر روی تصویر ماهواره‌ای قابل تشخیص می‌باشد. به همین اعتبار، پس از انتخاب ساختمان کاندید از نقشه تخریب، در این مرحله، ابتدا با کمک اطلاعات هم‌مختصات شدن تصویر و نقشه تمامی نقاط ساختمان‌ها از نقشه بر روی نتایج طبقه‌بندی به دست آمده نگاشت می‌شود. سپس، تمامی پیکسل‌های مربوط به طبقه‌بندی که داخل محدوده ساختمانی قرار دارند استخراج می‌شوند. حال با توجه به سه کلاس ساختمان، راه، درخت مشخص می‌شود هر کدام از ساختمان‌ها متعلق به کدام کلاس شده‌اند در واقع با محاسبه تعداد پیکسل‌های هر کلاس در آن ساختمان، کلاسی که تعداد پیکسل‌های بیشتری داشته باشد آن ساختمان متعلق به آن کلاس می‌شود به این ترتیب می‌توان به میزان تغییرات هر ساختمان پی‌برد.

### ۲-۴- نقشه تغییرات و نوسازی ساختمان‌ها

این مرحله از مقایسه نقشه تخریب ورودی که در چهار سطح تخریب تهیه شده با خروجی طبقه‌بندی به‌دست آمده از هر ساختمان، نقشه نوسازی و تغییرات ساختمان‌ها تعیین می‌شود. در حقیقت در این مرحله ساختمان‌های بازسازی شده و ساختمان‌های که تبدیل به زمین و فضای سبز شده‌اند مشخص می‌گردند.

## ۳- پیاده‌سازی

### ۳-۱- منطقه مورد مطالعه

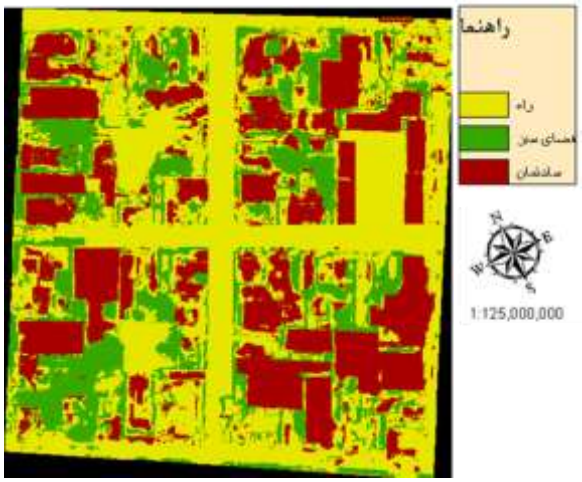
منطقه مورد مطالعه شهر پرتوپرینس[1]، پایتخت کشور هایتی[2] می‌باشد، که یکی از بزرگترین زمین‌لرزه‌های قرن ۲۱ در ۱۲ ژانویه ۲۰۱۰ با قدرت هفت ریشتر در این منطقه اتفاق افتاد. در این زمین‌لرزه تعداد زیادی از افراد کشته و زخمی و میلیون‌ها نفر بی‌خانمان شدند[۱, ۱۰]. روش پیشنهادی بر روی تصویر بعد از زلزله هایتی، که از گوگل ارت به‌دست آمده، پیاده‌سازی و ارزیابی گردید. از این داده یک بلوک ساختمانی با ابعاد ۵۱۲×۴۸۸ پیکسل شامل ۱۴۲ ساختمان در نظر گرفته شد که در شکل (۳) نشان داده شده است.

الف ب

**شکل۳: منطقه مورد مطالعه جهت تست روش پیشنهادی الف)تصویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا پس از زلزله ۲۰۱۶ ب) نقشه تخریب**

### ۳-۲- طبقه‌بندی

در این تحقیق، طبقه‌بندی با استفاده از روش طبقه‌بندی SVM در سه کلاس "ساختمان" و " راه" و " درخت" انجام شده است. نتیجه بدست آمده از این مرحله، با استفاده از تصویر ماهواره‌ای در شکل (۴) نمایش داده شده است.




**شکل ۴:خروجی طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای ۲۰۱۶ در سه کلاس به روش SVM.**

1 Port-au-Prince

2 Haiti

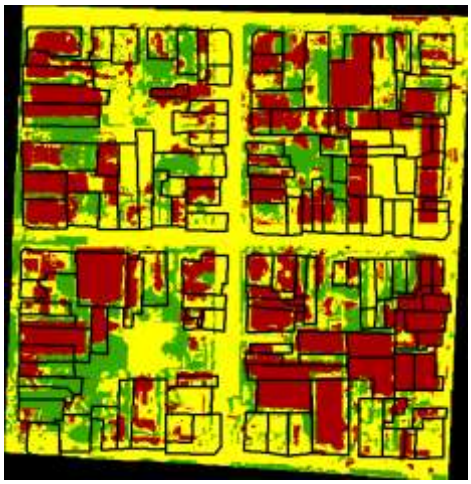
به منظور ارزیابی صحت خروجی طبقه‌بندی، با استفاده از داده چک ماتریس خطا محاسبه گردید که صحت کلی ۷۷/۴٪ و ضریب کاپا ۵۷/۲۲٪ گزارش شد. جدول (۱) ماتریس خطا نتیجه طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای را در سه کلاس ساختمان، راه، درخت را نشان می‌دهد.

**جدول ۱: ماتریس خطاها مربوط به طبقه‌بندی داده تست**

| ماتریس خطا | الگوریتم | | |
|---|---|---|---|
| | ساختمان | درخت | راه |
| ساختمان | ۹۰۹۸۹ | ۸۶ | ۱۹۱۳۲ |
| درخت | ۳۷۸۸ | ۱۰۳۸۷ | ۷۸۰۶ |
| راه | ۴۳۷۰۶ | ۶۳۸ | ۱۵۶۰۳۷ |
| صحت کلی= ۰/۷۷/۴ | | ضریب کاپا=۰/۵۷/۲۲ | |

### ۳-۳- تعیین وضعیت هر ساختمان

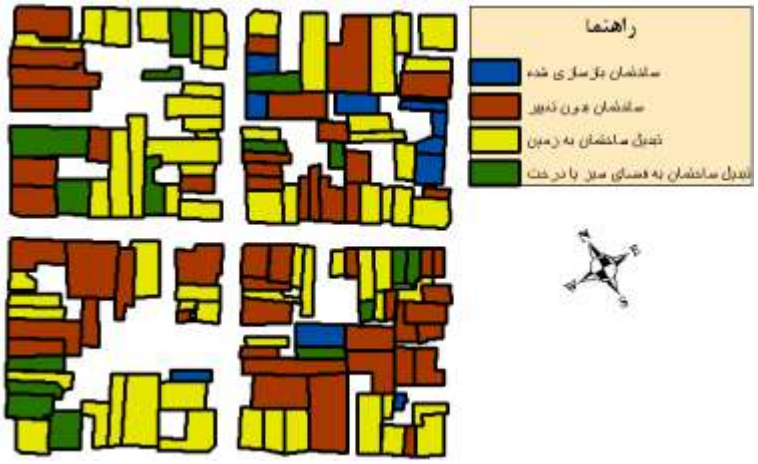
این مرحله با استفاده از همپوشانی لایه ساختمانی بر روی نتیجه طبقه‌بندی به دست آمده از تصویر ماهواره‌ای ۲۰۱۶ میزان تغییرات هر ساختمان تعیین می‌شود. شکل (۵) همپوشانی نتیجه طبقه‌بندی و لایه ساختمانی را نشان می‌دهد.



**شکل ۵: نتیجه همپوشانی لایه ساختمانی و خروجی طبقه‌بندی به دست آمده از تصویر ۲۰۱۶**

### ۳-۴- نقشه تغییرات و نوسازی ساختمان‌ها

با مقایسه نقشه تخریب با نتیجه به دست آمده از وضعیت هر ساختمان، ساختمان‌های بازسازی شده شناسایی می‌شود. شکل (۶) میزان تغییرات ساختمان‌ها و ساختمان‌های نوساز را نشان می‌دهد.



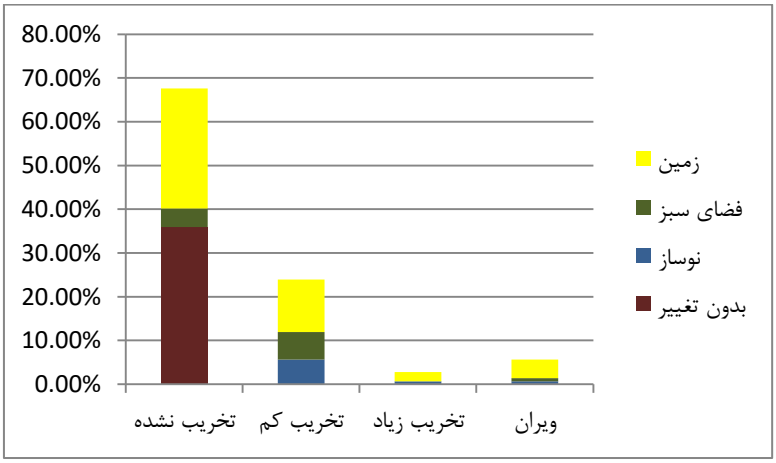

**شکل ۶: نقشه تغییرات و نوسازی ساختمان‌ها با استفاده از تصویر ماهواره‌ای**

## ۴- ارزیابی نتایج

به منظور تعیین روند تغییرات منطقه ساختمانی، نقشه تغییرات و نوسازی به دست آمده از مرحله قبلی با نقشه تخریب مقایسه می‌شود. جدول (۲) میزان این تغییرات را نشان می‌دهد. همچنین در شکل (۷) درصد این تغییرات بر روی نمودار نشان داده شده است.

**جدول ۲: شمار ساختمان‌ها بر اساس درجه تخریب و نوع کلاس‌ها**

| ۲۰۱۶ / ۲۰۱۰ | ساختمان بدون تغییر | ساختمان نوساز | فضای سبز | زمین |
|---|---|---|---|---|
| ساختمان تخریب نشده | ۵۱ | ۰ | ۶ | ۳۹ |
| ساختمان تخریب کم | ۰ | ۸ | ۹ | ۱۷ |
| ساختمان تخریب زیاد | ۰ | ۱ | ۰ | ۳ |
| ساختمان ویران | ۰ | ۱ | ۱ | ۶ |




**شکل ۷: درصد انواع تغییرات ساختمان با درجه تخریب مختلف**

با توجه به جدول (۱): از میان ۶۷/۶۱٪ از ساختمان‌های تخریب نشده ۳۵/۹۲٪ ساختمان‌ها بدون تغییر باقی مانده‌اند و ۴/۲۲٪ از ساختمان‌ها به فضای سبز و ۲۷/۴۶٪ از ساختمان‌ها به زمین تبدیل شده‌اند. همچنین از میان ۲۳/۹۴٪ از ساختمان‌ها با درجه تخریب کم، ۵/۶۳٪ از ساختمان‌ها بازسازی شده‌اند و ۶/۳۳٪ از ساختمان‌ها به فضای سبز تبدیل

و ۱۱/۹۷٪ از این ساختمان‌ها به زمین تبدیل شده‌اند. از میان ۲/۸۲٪ ساختمان‌ها با تخریب زیاد فقط ۰/۷٪ از آن‌ها بازسازی شده و ۲/۱۱٪ از آن‌ها به زمین تبدیل شده‌اند. در میان ۵/۶۳٪ از ساختمان‌های ویران شده ۰/۷٪ از آن‌ها بازسازی شده‌اند و ۰/۷٪ از آن‌ها به فضای سبز تبدیل و ۴/۲۲٪ به زمین تبدیل شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، بیشتر ساختمان‌ها با درجه تخریب کم به ساختمان‌های نوساز تبدیل شده‌اند و ساختمان‌ها با درجه تخریب زیاد و ویران بیشتر به زمین تبدیل شده‌اند.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق نسبت به ارائه و پیاده‌سازی یک روش به منظور تعیین میزان تغییرات و بازسازی ساختمان‌های تخریب شده ناشی از زلزله، با استفاده از تصویر ماهواره‌ای۲۰۱۶ با قدرت تفکیک بالا به همراه نقشه تخریب اقدام گردید. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق هایتی می‌باشد.

روش طبقه‌بندی SVM به‌منظور طبقه‌بندی در سه کلاس ساختمان، راه، فضای سبز استفاده شد که صحت کلی ۷۷/۴٪ و ضریب کاپا ۵۷/۲۲٪ گزارش شد. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که این الگوریتم در تشخیص بین کلاس‌ها بسیار کارا است.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که فرآیند نوسازی بیشتر شامل ساختمان‌ها با درجه تخریب کم می‌باشد و ساختمان‌ها با درجه تخریب زیاد و ویران بیشتر به زمین تبدیل شده‌اند. همچنین نتایج نشان می‌دهد با گذشت ۶ سال از زلزله عظیم هایتی متاسفانه با وجود فرآیند بازسازی، بیشتر ساختمان‌های تخریب شده به صورت زمین خالی باقی مانده‌اند و سرعت و پیشرفت پروژه بازسازی در این منطقه غیر قابل قبول می‌باشد و این نشان می‌دهد که این پروژه در مقایسه با پروژه‌های بازسازی دیگر پیشرفت کمی داشته است. شاید به توان از فاکتورهای عدم موفقیت این مسئله به مشکلات مالی بازسازی ساختمان‌ها اشاره کرد و دولت می‌بایست اقدامات ویژه‌ای در این زمینه به‌عمل می‌آورد.

به منظور بهبود روش پیشنهادی، پیشنهاد می‌شود نقشه از داده‌های ورودی حذف شود و بتوان بدون استفاده از نقشه با استفاده از تصویر ماهواره‌ای قبل نقشه تغییرات و نوسازی تهیه شود. همچنین پیشنهاد می‌شود به جز استفاده از باندهای تصویر از توصیف‌گرهای مختلف در مرحله‌ی طبقه‌بندی مورد ارزیابی قرار گیرد.

## مراجع

[1] Usgs, "Post- Disaster Building Damage Assessment Using Satellite And Aerial Imagery Interpretation, Field Verification And Modeling Techniques," 2011.

[2] H. Rastiveis, F. Samadzadegan, And P. Reinartz, "A Fuzzy Decision Making System For Building Damage Map Creation Using High Resolution Satellite Imagery," Natural Hazards And Earth System Sciences, Vol. 13, P. 455, 2013.

[3] S. O. Hashemi-Parast, F. Yamazaki, And W. Liu, "Monitoring And Evaluation Of The Urban Reconstruction Process In Bam, Iran, After The 2003 Mw 6.6 Earthquake," Natural Hazards, Pp. 1-17, 2016.

[4] T. Hoshi, O. Murao, K. Yoshino, F. Yamazaki, And M. Estrada, "Post-Disaster Urban Recovery Monitoring In Pisco After The 2007 Peru Earthquake Using Satellite Image," Journal Of Disaster Research Vol, Vol. 9, P. 1059, 2014.

[5] G. Sarp, A. Erener, S. Duzgun, And K. Sahin, "An Approach For Detection Of Buildings And Changes In Buildings Using Orthophotos And Point Clouds: A Case Study Of Van Erciåÿ Earthquake," European Journal Of Remote Sensing-2014, Vol. 47, Pp. 627-642, 2014.

[6] J. Tian, A. A. Nielsen, And P. Reinartz, "Building Damage Assessment After The Earthquake In Haiti Using Two Post-Event Satellite Stereo Imagery And Dsms," International Journal Of Image And Data Fusion, Pp. 1.۲۰۱۵ ,۱۵–

[7] O. Murao, T. Hoshi, M. Estrada, K. Sugiyasu, M. Matsuoka, And F. Yamazaki, "Urban Recovery Process In Pisco After The 2007 Peru Earthquake," Journal Of Disaster Research, Vol. 8, Pp. 356-364, 2012.

[8] J. Weston, "Support Vector Machine (And Statistical Learning Theory) Tutorial," Pdf] Columbia University, New York City, Vol. 7, 2007.

[9] A. Ben-Hur And J. Weston, "A Userâ€™S Guide To Support Vector Machines," In Data Mining Techniques For The Life Sciences: Springer, 2010, Pp. 223-239.

[10] Usgs, "Post- Disaster Building Damage Assessment Using Satellite And Aerial Imagery Interpretation, Field Verification And Modeling Techniques," Final Report.