



Determining the extent of building destruction after an earthquake using satellite imagery and fuzzy logic (Case study of Sarpol-e-Zahab region)

M.jalili¹ & M.davoodabadi²

1. Master of Remote Sensing, Faculty of Engineering, Hekmat Institute of Higher Education, Qom, Iran. Mohamadrasol208@gmail.com
2. Assistant Professor, Faculty of Engineering, Hekmat Institute of Higher Education, Qom, Iran (Corresponding Author), Meysam.davoodabadi@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: Earthquake is one of the most destructive natural disasters. Earthquakes occur in urban areas, destroying buildings and injuring people living in them. Urban center buildings are among the features that are exposed to many hazards during an earthquake. One of the first measures taken after an earthquake is relief. Locating damaged buildings can speed up relief efforts. One of the main sources in preparing the demolition of buildings is the science of remote sensing. Many researches have been done in the field of damage assessment using remote sensing images and the purpose of this research is to determine the extent of building destruction after an earthquake using plaidis data and fuzzy logic.

Method: In this study, we used Plydez satellite images related to before and after the earthquake, in a period of less than one week after the earthquake. In this study, the first-order statistical tissue properties and the properties obtained from the matrix also were used. Then, using the genetic optimization algorithm, the optimal tissue properties were selected and using the isodita clustering and integration algorithm. Spectral information and optimal texture properties were determined for the roofs of the extracted buildings of three classes.

Findings: The condition of the buildings was done by a fuzzy inference system with Mamdani inference motor and fuzzy rules database designed using reference buildings and a total of 250 buildings were entered into the algorithm and classified into three classes of destruction.

Conclusion: The main output of this research was the demolition plan including three classes of healthy buildings to low degradation, high degradation and destruction. The use of reference buildings in estimating the accuracy of the proposed method showed an accuracy of 74% and acceptable method in determining the condition of buildings after the earthquake.

Keywords: Fuzzy inference system, Izudita clustering, texture features, demolition map.

► **Citation (APA 6th ed.):** Jalili M, Davoodabadi M. (2021, Winter). Determining the extent of building destruction after an earthquake using satellite imagery and fuzzy logic (Case study of Sarpol-e-Zahab region). *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 10(4),339-350.

تعیین میزان تخریب ساختمان‌ها پس از وقوع زلزله با استفاده از تصویر ماهواره‌ای و منطق فازی (مطالعه موردی منطقه سرپل ذهاب)

محمد رسول جلیلی^۱ و میثم داود آبادی فراهانی^۲

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشکده فنی و مهندسی، موسسه آموزش عالی حکمت، قم، ایران. Mohamadrasol208@gmail.com

۲. استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، موسسه آموزش عالی حکمت، قم، ایران (نویسنده مسئول) Meysam.davoodabadi@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: زلزله یکی از مخرب‌ترین حوادث طبیعی است. وقوع زلزله در مناطق شهری باعث تخریب ساختمان‌ها و آسیب افراد ساکن در آن می‌شود. ساختمان‌های مراکز شهری از جمله عواملی هستند که در هنگام وقوع زلزله در معرض خطرات بسیاری قرار دارند. یکی از اولین اقدامات پس از وقوع زلزله، امداد رسانی است. تعیین موقعیت ساختمان‌های آسیب دیده می‌تواند سرعت را در امداد رسانی ارتقاء دهد. یکی از منابع اصلی در تهیه نقشه‌ی تخریب ساختمان‌ها، علم سنجش از دور است. تحقیقات بسیاری در بحث ارزیابی خسارت با استفاده از تصاویر سنجش از دور انجام شده است و هدف از انجام این تحقیق تعیین میزان تخریب ساختمان‌ها پس از وقوع زلزله، با استفاده از داده‌های پلایدیس ۱ و منطق فازی است.

روش: در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای پلایدیس مربوط به قبل و بعد از زلزله، در بازه زمانی کمتر از یک هفته بعد از زلزله استفاده کردیم. در این تحقیق از ویژگی‌های بافتی آماری مرتبه اول و ویژگی‌های حاصل از ماتریس هم‌اتفاق استفاده گردید و در ادامه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک، نسبت به انتخاب ویژگی‌های بافتی بهینه اقدام شد. همچنین با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی ایزودیتا ۲ و تلفیق اطلاعات طیفی و ویژگی‌های بافت بهینه، برای سقف ساختمان‌های استخراجی سه کلاس تعیین شد.

یافته‌ها: وضعیت ساختمان‌ها توسط یک سیستم استنتاج فازی با موتور استنتاج ممدانی و پایگاه قوانین فازی طراحی شده با بهره‌گیری از ساختمان‌های مرجع انجام پذیرفته و در مجموع ۲۵۰ ساختمان وارد الگوریتم شده و در سه کلاس تخریب طبقه‌بندی شدند.

نتیجه‌گیری: خروجی اصلی این تحقیق، نقشه‌ی تخریبی شامل سه کلاس ساختمان‌های سالم تا تخریب کم، تخریب زیاد و ویران بود. استفاده از ساختمان‌های مرجع در برآورد دقت، روش پیشنهادی نشان‌دهنده دقت ۷۴ درصدی و قابل قبول روش در تعیین وضعیت ساختمان‌ها، پس از وقوع زلزله بود.

واژگان کلیدی: سیستم استنتاج فازی، خوشه‌بندی ایزودیتا، ویژگی‌های بافتی، نقشه تخریب.

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** جلیلی، محمد رسول؛ داودآبادی فراهانی، میثم. (زمستان، ۱۳۹۹). تعیین میزان تخریب ساختمان‌ها پس از وقوع زلزله با استفاده از تصویر ماهواره‌ای و منطق فازی (مطالعه موردی منطقه سرپل ذهاب). *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. ۱۰ (۴)، ۳۳۹-۳۵۰.

مقدمه

انسانی گردد(ی، حامد نیا، ۱۳۹۴).

سنجش از دور علم شناسایی، اندازه‌گیری و بررسی عوارض و پدیده‌های سطح زمین با استفاده از تصاویر حاصل از تعامل امواج الکترومغناطیسی با اشیاء مذکور، بدون تماس مستقیم با عوارض است. تصاویر سنجش از دور فضایی (ماهواره‌ای) به دلیل وسعت دید زیاد، تواتر زمانی و مکانی مناسب در اخذ تصویر، قالب رقومی و مزایای منحصر به فرد دیگر، کاربردهای فراوانی در علوم مهندسی ژئوماتیک دارند و نقش آن‌ها روز به روز در حل مشکلات جامعه پر رنگ‌تر می‌شود. یکی از کاربردهای سنجش از دور، شناسایی مناطق آسیب‌دیده پس از وقوع بحران است. امروزه استفاده از تصاویر اپتیک، رادار و لیدار درباره شناسایی آسیب پس از وقوع زلزله، سیل، رانش و دیگر حوادث غیرمترقبه بیش از پیش مطرح شده است (م، جانعلی پور، ۱۳۹۸).

فناوری سنجش از دور امروزه با فراهم آوردن داده‌های متنوع و مفید، امکان داشتن پوشش گسترده از منطقه‌ی بحران‌زده، اطلاعات مربوط به قبل و پس از وقوع بحران، قدرت تفکیک مکانی بالا و همچنین امکان تلفیق داده‌های مختلف حاصل از سنجنده‌های سنجش از دوری متفاوت را جهت تعیین تخریب ساختمان‌ها فراهم آورده است، با پرتاب سیستم‌های ماهواره‌ای تجاری اخیر مانند کوئیک برد^۴، آیکنوس^۵ و ژئوآی^۶ نسل جدیدی از تصویربرداری با قدرت تفکیک مکانی بالا (به ترتیب یک متر یا کمتر) در تعیین آسیب‌های ساختاری در مناطق بحران‌زده و بخصوص در ساختمان‌ها در دسترس و قابل استفاده هستند. همچنین، از آنجایی که مقیاس مشاهده با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، امکان آنالیزهای بصری بیشتری را در اختیار محققان قرار می‌دهد، در تعیین تخریب ساختمان‌ها از این نوع تصاویر استفاده می‌شود (برنر، ۲۰۱۱).

در یکی از این تحقیق‌ها اَحدزاده و همکاران، با استفاده از تصویر با قدرت تفکیک مکانی ۰/۶ متر اخذ شده توسط سنجنده ی کوئیک برد، مربوط به پس از وقوع زلزله‌ی شهر بم در سال ۲۰۰۳، اقدام به

بلایای طبیعی پدیده‌های سریع و شدت‌داری هستند که در سیستم ژئوفیزیکی زمین اتفاق افتاده و منجر به صدمات جانی و مالی فراوانی می‌شوند. این بلایا نیازمند اقدامات پاسخ و پشتیبانی در امر کمک‌رسانی می‌باشند (کرل^۱، ۲۰۰۲). در میان بلایای طبیعی مختلف، زلزله به علت در بر گرفتن خطرات و ویرانی‌های بیشتر نسبت به سایر بلایا، کانون توجه بسیاری از متخصصین شهری می‌باشد. اثر زلزله بسیار متنوع و مختلف بوده و از تخریب جزئی تا نابودی کامل مراکز اصلی شهری و قطع کامل کالبد اجتماعی و اقتصادی یک منطقه تغییر می‌کند. برای کاهش اثرات بلایای طبیعی بر روی انسان‌ها، عملیات پاسخ مؤثر و کارآمد با تعیین دقیق نوع و میزان کمک در ناحیه‌ی درست، مورد نیاز است (برنر^۲، ۲۰۱۱).

پیشگیری از بلایای طبیعی امری محال به نظر می‌رسد؛ با این حال و با بکارگیری علم و فناوری امروزی، جلوگیری یا کاهش اثرات ناشی از بلایای طبیعی، با استفاده از استراتژی‌های مدیریت بحران مؤثر و مفید، امری ممکن و شدنی است (آیانس^۳، ۲۰۰۳). مدیریت بحران، مسئله‌ای مهم در مدیریت شهری است. کشف و تعیین خرابی‌های ناشی از وقوع بلایای طبیعی از جمله زلزله، امری مهم در بحث مدیریت بحران است. برای انجام مدیریت بحران مؤثر در مناطق شهری، نیاز به اطلاعات زمین مرجع مختلف در مقیاس‌های متفاوت وجود دارد. علم اطلاعات مربوط به زمین، شامل سیستم اطلاعات مکانی، سنجش از دور و سیستم موقعیت‌یابی جهانی، پشتیبانی راسخی برای انجام فعالیت‌های مدیریت بحران جهت تسریع و افزایش کارآمدی مدیریت داده، آنالیز و خروجی عملیات مدیریت بحران است (برنر^۲، ۲۰۱۱).

با نگاهی به نقشه خطر زلزله جهانی در می‌یابیم که ایران در ناحیه‌ای بسیار فعال از لحاظ تکتونیکی واقع شده و زلزله‌های گذشته مصداق این امر است. بسیاری از شهرها در نزدیکی گسل‌ها قرار دارند، بنابراین هر چند سال یکبار شاهد وقوع زلزله مخرب با خسارات مالی و جانی فراوان هستیم. مجموعه اقدامات مدیریت بحران پس از رخداد زلزله می‌تواند باعث کاهش میزان تلفات

4. Quick Bird
5. Ikonos
6. Geoeye

1. Kerle et al., 2002
2. Brunner et al., 2011
3. Ayans et al., 2003

از جمله محدودیت‌های این روش، حساس بودن آن به مرحله هم مختصات کردن با استفاده از نقشه رقومی و تصاویر است. در تحقیق پیش‌رو نیز، با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا اقدام به تعیین تخریب ساختمان‌ها خواهد شد. تعیین تخریب ساختمان‌ها در نقشه‌ی تخریب نمایش داده خواهند شد. در این نقشه، موقعیت دقیق ساختمان‌های مورد مطالعه و وضعیت آنها از نقطه نظر سالم یا آسیب‌دیده بودن مشخص است. هر ساختمان در این نقشه با یکی از کلاس‌های سالم تا تخریب کم، تخریب زیاد و ویران برچسب دهی می‌شود. با در اختیار داشتن چنین نقشه تخریب‌هایی می‌توان به تسهیل و تسریع مدیریت بحران، بخصوص در فاز پاسخ و همچنین، در امدادسانی به بحران زده‌ها کمکی شایان نمود (ا، نیک نام، ۱۳۹۱).

از سوالات پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- آیا امکان تعیین میزان تخریب پس از زلزله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بدون حضور مستقیم در محل وجود دارد؟
- ۲- آیا الگوریتم ژنتیک برای تعیین میزان تخریب ساختمان‌ها بعد از وقوع زلزله روش مناسبی است؟

زمین‌لرزه ایران-عراق به بزرگی ۷/۳ در مقیاس بزرگای گشتاوری شامگاه یکشنبه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ در نزدیکی ازگله، استان کرمانشاه در نزدیکی مرز ایران و عراق، در ۳۲ کیلومتری جنوب غربی شهر حلبچه عراق رخ داد. تعداد کشته‌ها در ایران به ۷۰۰ نفر رسید و همچنین ۹۳۸۸ نفر نیز زخمی شده‌اند و حدود ۷۰۰۰۰ نفر بی‌خانمان شدند. شکل (۱) تصویر منطقه مورد مطالعه می‌باشد. دلیل انتخاب این محدوده نزدیکی زمانی به وقوع زلزله در این منطقه، تسلط بر منطقه مورد مطالعاتی، ویرانی‌های بالا در منطقه و همچنین در دسترس بودن اطلاعات و داده‌های ماهواره‌ای از قبل و بعد از زلزله می‌باشد که در مختصات‌های (۲۶ و ۳۴)، (۲۸ و ۳۴)، (۴۵ و ۴۷) و (۵۴ و ۴۵) قرار دارد.

در این تحقیق، قسمت اعظمی از شهرستان سرپل ذهاب مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. پس از وقوع این زلزله، ماهواره پلایدیس در تاریخ‌های ۲۰۱۷/۱۱/۱۸ و ۲۰۱۷/۱۱/۲۵ اقدام به گرفتن تصاویر از شهرستان سرپل ذهاب نمود.

کشف و آشکارسازی ساختمان‌های تخریب شده نمودند (آحدزاده، ۲۰۰۸). در این روش تنها اطلاعات در دسترس، اطلاعات رنگی و بافتی تصاویر بود. همچنین در تعیین مناطق تخریب شده از این فرض استفاده شد که بافت سقف ساختمان‌ها در صورت خرابی ناشی از زلزله دچار تغییراتی می‌گردد. ویژگی‌های بافتی تصاویر با استفاده از ماتریس هم‌اتفاق استخراج گردید و سپس با استفاده از اطلاعات رنگی تصاویر در کنار آن، اقدام به طبقه‌بندی تصویر سقف ساختمان‌ها شد. در طبقه‌بندی سقف ساختمان‌ها، از یک الگوریتم شبکه‌ی مصنوعی که داده‌های رنگی و بافتی تصاویر را به عنوان مرجع در نظر می‌گیرد، بهره گرفته شد. شبکه‌ی عصبی مورد استفاده دارای سه لایه بود که با استفاده از آن تصویر به سه کلاس پس زمینه، ساختمان‌های سالم و ساختمان‌های تخریب شده کلاس‌بندی شد. از جمله مزایای این روش، سرعت آن در تولید نقشه‌ی تخریب است. در ارزیابی نتایج، از واقعیت‌های زمینی جمع‌آوری شده طی یک عملیات زمینی و برخی از مطالعات انجام شده استفاده شده است. دقت روش پیشنهادی در کشف ساختمان‌های تخریب شده، تقریباً ۶۷ درصد بود که چندان مطلوب نیست.

در تحقیق دیگری، یان امرا و همکاران (یان امرا، ۲۰۰۳)، با استفاده از تصاویر هوایی قبل و پس از وقوع زلزله شهر کوبی^۲ کشور ژاپن و نقشه‌برداری از آن، به تعیین ساختمان‌های تخریب شده پرداختند. مراحل تعیین تخریب در این تحقیق بدین صورت است که در مرحله‌ی اول، تصاویر قبل و پس از وقوع زلزله با استفاده از نقشه‌برداری با یکدیگر هم مختصات می‌شوند. در مرحله‌ی دوم، اختلافات رنگی در سطح پیکسل محاسبه می‌شوند. پس از آن و در مرحله‌ی سوم، بر روی این مقادیر اختلافات یک مرحله حد آستانه‌گذاری انجام می‌شود و در آخر با توجه به مقادیر اختلافات رنگی و مقایسه‌ی آنها با حد آستانه‌ی تعیین شده، نقشه‌ی تخریب تولید می‌گردد. در این روش، مناطق در سه کلاس تخریب شده، سالم و غیرقابل تعیین طبقه‌بندی می‌شوند. پس از بررسی نتایج با استفاده از مشاهدات چشمی، این روش به عنوان یک روش سریع و مفید جهت تعیین مناطق تخریب شده به حساب آورده شده است.

1. Ahadzadeh et al., 2008
2. Yanamura et al., 2003
3. Kobe



شکل ۱: تصویر منطقه مورد مطالعه قبل از زلزله ماهواره پلایدیس

روش

با تکرار این عمل در نهایت به مجموعه‌ای از نقاط بهینه می‌رسد (م، بهاء‌الدینی، ف، منظوری، ۱۳۸۶).

روش پیشنهادی در این تحقیق، استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک به دلیل نتایج مثبت در تحقیقات مشابه قبلی می‌باشد (ی، حامد نیا، ۱۳۹۴). در این مرحله از تحقیق، با استفاده از لایه برداری و تصویر پس از وقوع زلزله، اقدام به استخراج ساختمان‌ها کاندید شده است. بدین منظور ابتدا با استفاده از نرم‌افزار (ArcGIS ۱۰٫۴٫۱) پلیگون‌های مربوط به این ساختمان‌ها انتخاب و سپس با آنالیز مکانی، تصویر پس از وقوع زلزله و استفاده از ابزار استخراج بوسیله ماسک، قسمت‌های رستری درون پلیگون‌ها استخراج گردید. باتوجه به توانایی ویژگی‌های بافتی در نمایش قسمت‌های تخریب شده سقف ساختمان‌ها، پس از استخراج ساختمان‌های کاندید، استخراج ویژگی‌های بافتی تصاویر با استفاده از توصیف‌گرهای آماری امری ضروری است. در این تحقیق، ویژگی‌های آماری مرتبه اول و ویژگی‌های آماری استخراجی از ماتریس هم‌اتفاق جهت نمایش بافت تصویر پس از وقوع زلزله مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به منظور استخراج ویژگی‌های بافتی مذکور از تصویر پس از وقوع زلزله، از یک پنجره پردازش با ابعاد ۵×۵ پیکسل استفاده شد. ماتریس هم‌اتفاق برای چهار جهت اصلی صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ درجه و با فاصله یک پیکسل محاسبه شد. ماتریس هم‌اتفاق

الگوریتم ژنتیک، یک تکنیک بهینه‌سازی و جستجوی مبتنی بر تکرار است که بر پایه قوانین ژنتیک و انتخاب طبیعی بنا شده است. این الگوریتم همان‌گونه که فرایند تکامل ژنی در طبیعت انجام می‌شود، تکامل را روی نماد ژنی مربوط به جواب‌های یک مسئله انجام می‌دهد. این روش با یک حدس اولیه شروع شده و در دوره‌های متفاوت بهترین جواب‌ها، با توجه به عملکردشان در تابع هدف و بر آوردن معیارها و محدودیت‌ها، انتخاب شده و به دوره بعد انتقال می‌یابند. قانون حاکم بر این روش عبارت است از اعضای که دارای ارزش بالاتری از سازگاری و کیفیت هستند، با احتمال بیشتری به نسل بعد منتقل می‌گردند. این الگوریتم چندین نقطه از فضای جستجو را به صورت همزمان در نظر می‌گیرد و بنا بر این شانس اینکه به یک مینیمم محلی همگرا شود (خطری که بیشتر روش‌های جستجوی مرسوم را تحدید می‌نماید)، کاهش می‌یابد. چون در این الگوریتم محاسبه ارزش هر نقطه بصورت مستقل انجام می‌گیرد، محاسبه همزمان چند نقطه در فضای جواب آن، با استفاده از کامپیوترهای موازی قابل اجرا می‌باشد. این الگوریتم نیازی به اطلاعات زیاد در مورد مسئله و حتی اطلاعات مشتق آن ندارد، زیرا این روش در هر دوره با محاسبه ارزش هر متغیر و تولید مجموعه‌های جدید، با استفاده از عملگرهای خود به تولید مجموعه متغیرهایی می‌پردازد که بهترین ارزش را در مسئله ایجاد می‌نمایند و



ضریب کاپای بدست آمده از طبقه‌بندی یک قطعه تصویر نمونه با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی، کمترین فاصله است. برای تولید فرزندان از والدین، روش تقاطع دو نقطه‌ای جهت تولید نسل آینده مورد استفاده قرار گرفته است. احتمال جهش ۱۱ درصد و نرخ اعضای کوچ کننده به نسل بعد ۲۲ درصد در نظر گرفته شد. در الگوریتم ژنتیک ارائه شده در این تحقیق، میانگین اختلافات کاپاهای بدست آمده در هر نسل، معیاری برای توقف الگوریتم ژنتیک است. این معیار توقف با اعمال حد آستانه‌ای معادل با 0.03 بر روی میانگین اختلافات به الگوریتم تعریف گردید. الگوریتم مورد استفاده، با ۴۳ تکرار به جواب رسید. بهترین کاپای بدست آمده که کاپای مربوط به کروموزوم برگزیده است، معادل با 0.7411 و میانگین کاپاهای تمام کروموزوم‌های تولید شده 0.7094 می‌باشد. در شکل (۲) برخی از کروموزوم‌های تولید شده در طول فرآیند بهینه‌سازی نمایش داده شده است.

ویژگی‌های بافت بهینه حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک به صورت یک کروموزوم در جدول (۱) نمایش داده شده است.

نهایی از میانگین‌گیری چهار ماتریس هم‌اتفاق حاصل شده از اعمال چهار جهت اصلی بدست آمد. تصویر پس از وقوع زلزله مورد پردازش، دارای چهار باند طیفی است. از این رو، تصویر بافتی نهایی تولید شده، از میانگین‌گیری توصیف‌گرهای بافتی هر یک از باندهای قرمز، آبی، سبز و مادون قرمز نزدیک تولید گردید.

با توجه به تعدد ویژگی‌های بافتی استخراجی و اضافه بودن برخی از آنها در فرآیند طبقه‌بندی و همچنین کاهش احتمالی دقت طبقه‌بندی کننده‌ها در صورت وجود برخی از این ویژگی‌ها، استخراج و انتخاب پارامترهای بافتی بهینه، امری ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک به منظور تعیین ویژگی‌های بافتی بهینه استفاده شده است. بدین منظور، ۲۰ کروموزوم که هر یک با تعداد ۱۳ ژن که معادل با ویژگی‌های بافتی استخراجی است، ایجاد شدند. حضور یا عدم حضور هر یک از ویژگی‌های بافتی به ترتیب با اعداد یک و صفر در کروموزوم‌ها نشان داده می‌شوند. در این تحقیق برای انتخاب والدین از روش تورنمنت استفاده و تعداد جمعیت هر نسل بصورت تصادفی انتخاب شده است. تابع شایستگی در این الگوریتم،

0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0
1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0
0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0
1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0
0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0
1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0

شکل ۲: برخی از کروموزوم‌های تولید شده در فرآیند انتخاب ویژگی‌های بافتی بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک

جدول ۱: کروموزوم مربوط به ویژگی‌های بافتی بهینه انتخاب شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک

Maximum Probability	IDM	Homogeneity	Cluster Tendency	Dissimilarity	Correlation	Contrast	Sum Mean	Haralick Variance	Entropy	Energy	Variance	Mean
0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0

و حداکثر آنها ۴ انتخاب شد. همچنین تعداد تکرار این الگوریتم جهت انجام خوشه‌بندی بهتر و با استفاده از سعی و خطا، عدد ۳۰ انتخاب گردید.

یافته‌ها

خروجی الگوریتم خوشه‌بندی مورد استفاده برای سقف هر ساختمان که در شکل (۳) مشاهده می‌کنید، شامل سه کلاس بنفش، آبی و مشکی رنگ می‌باشد. سایر کلاس‌های مربوط به سقف ساختمان‌ها در این الگوریتم مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. این کلاس‌ها می‌توانند گیاه، استخر، کولر یا اجسام بزرگ موجود بر روی سقف ساختمان‌ها باشند.

عدد یک به معنای حضور و عدد صفر به معنای عدم حضور ویژگی مربوطه در خروجی الگوریتم ژنتیک می‌باشد. پس از مشخص شدن ویژگی‌های بافت بهینه، در این مرحله یک الگوریتم طبقه‌بندی نظارت نشده با استفاده از ویژگی‌های بافتی بهینه جهت کشف تغییرات بافتی بر روی سقف ساختمان‌ها و همچنین باندهای طیفی قرمز، سبز و آبی جهت استخراج اطلاعات طیفی از قبیل سایه، بر روی سقف ساختمان‌ها اعمال گردید. الگوریتم طبقه‌بندی مورد استفاده، الگوریتم ایزودیتا بود. هر پیکسل در این الگوریتم، برداری با ۸ مقدار (۵ مقدار بافتی و ۳ مقدار طیفی) می‌باشد. در قسمت انتخاب پارامترهای این الگوریتم، حداقل تعداد کلاس‌ها ۳



شکل ۳: نتایج طبقه‌بندی نظارت نشده با استفاده از الگوریتم ایزودیتا بر روی ساختمان استخراج شده

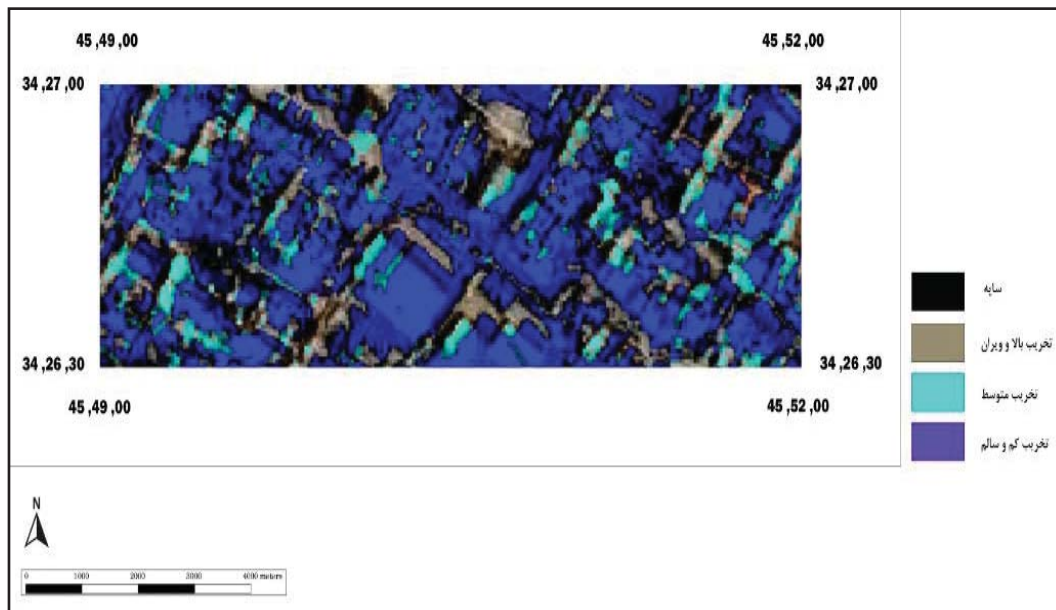
تصاویر بافتی و طیفی تولید می‌کنند. لذا وجود نواحی با لبه‌های زیاد می‌تواند بیانگر تخریب شده بودن آن نواحی باشد. تصمیم‌گیری در مورد وضعیت ساختمان‌ها از نقطه نظر سالم یا ویران بودن، با استفاده از سیستمی فازی انجام می‌پذیرد که ورودی‌های آن، نتایج حاصل از خوشه‌بندی می‌باشد. ایده‌ی مورد استفاده در این تحقیق برای تولید ورودی سیستم استنتاج فازی، نسبت تعداد پیکسل‌های هر کلاس به تعداد کل پیکسل‌های سه کلاس موجود در سقف ساختمان‌ها می‌باشد.

برای تفسیر نتایج طبقه‌بندی نظارت نشده مورد استفاده در این

تفسیرها نشان می‌دهند، سقف ساختمان‌های طبقه‌بندی شده به‌طور کلی از سه کلاس تشکیل شده‌اند. نواحی بنفش رنگ نشان دهنده‌ی سقف سالم ساختمان‌ها و نواحی آبی رنگ بیانگر سایه‌های حاصل از لبه‌ها و دیوارهای سقف ساختمان‌های سالم یا قسمت‌های پابرجا از ساختمان‌هایی با تخریب زیاد است. نواحی مشکی رنگ موجود نیز دارای دو نوع ماهیت می‌باشند. نوع اول خود را در ساختمان‌های سالم و بصورت لبه ساختمان‌ها نشان داده و نوع دوم در نواحی تخریب شده قابل مشاهده هستند. در نواحی تخریب شده وجود مصالح و قطعات زیادی از ساختمان، لبه‌های زیادی را در

کدام از آنها مشخص گردید. نقشه‌ی مربوط به موقعیت و پلیگون ساختمان‌های مرجع مورد استفاده جهت آموزش سیستم استنتاج فازی و تولید پایگاه قوانین فازی در شکل (۴)، نشان دهنده‌ی ساختمان‌های سالم، رنگ آبی نشان دهنده‌ی ساختمان‌هایی با تخریب کم تا متوسط، رنگ آبی فیروزه‌ای نمایانگر ساختمان‌های دارای تخریب زیاد و رنگ خاکستری، ساختمان‌های ویران را نمایش می‌دهند.

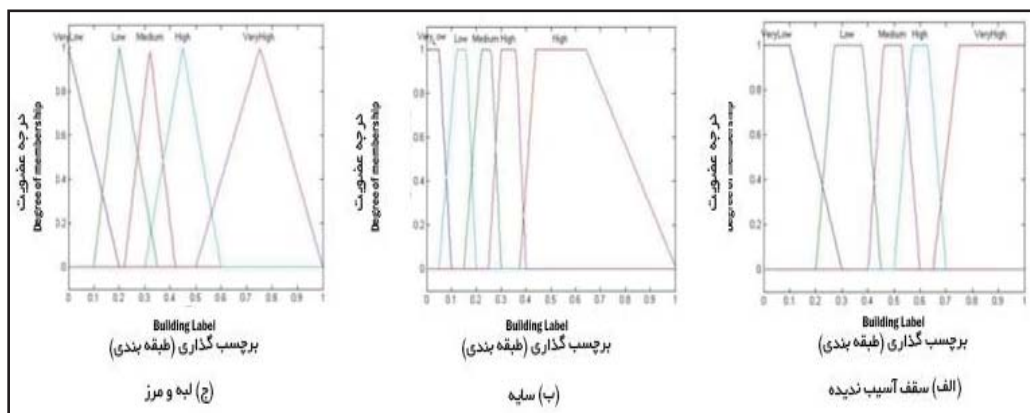
تحقیق و استفاده از آن در تعیین وضعیت ساختمان‌ها پس از وقوع زلزله، تعدادی ساختمان مرجع که وضعیت آنها پس از وقوع زلزله با تفسیر چشمی یک متخصص زلزله مشخص شد، مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور ۲۷ ساختمان سالم، ۲۴ ساختمان با تخریب کم، ۲۲ ساختمان با تخریب زیاد و ۱۹ ساختمان ویران مشخص شده و درصد حضور کلاس‌های سایه، سقف سالم و لبه (تخریب) در هر



شکل ۴: ساختمان‌های مرجع جهت آموزش سیستم استنتاج فازی

ز یاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی می‌گردند. شکل (۵) که متشکل از تابع‌های الف، ب و ج است، توابع عضویت فازی مورد استفاده جهت فازی‌سازی نتایج خوشه‌بندی در مرحله ورودی سیستم استنتاج فازی را نشان می‌دهد.

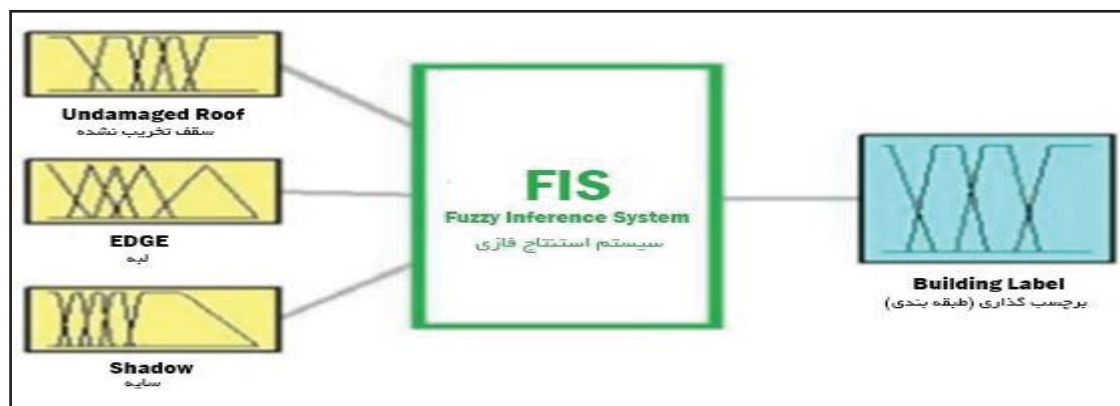
اعداد مربوط به نسبت تعداد پیکسل‌های هر کلاس به کل پیکسل‌های موجود در سقف ساختمان‌ها، با استفاده از توابع عضویت فازی وارد سیستم فازی می‌شوند و با توجه به مقادیرشان که عددی بین صفر و یک است، در بازه‌های خیلی کم، کم، متوسط،



شکل ۵: توابع عضویت فازی مورد استفاده جهت فازی‌سازی نتایج خوشه‌بندی در مرحله ورودی سیستم استنتاج فازی

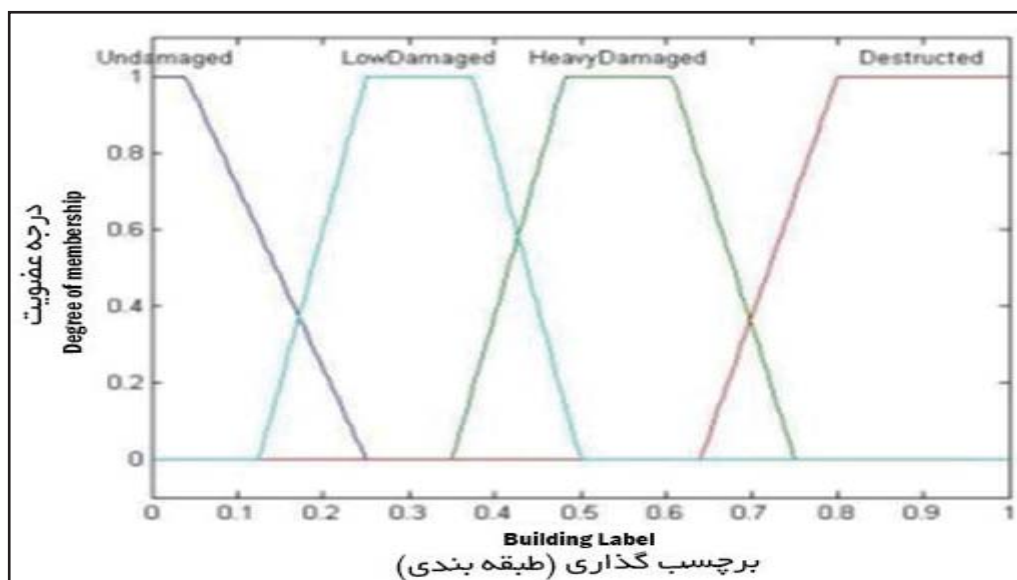
در انتخاب ساختمان‌های مرجع، سعی بر آن بوده است که انواع ساختمان‌ها با سقف‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد. سیستم استنتاج فازی طراحی شده در این روش، دارای سه ورودی، یک

موتور استنتاج و یک خروجی می‌باشد. شکل (۶) مراحل سیستم استنتاج فازی را نشان می‌دهد.



شکل ۶: ساختار سیستم استنتاج فازی طراحی شده

موتور استنتاج مورد استفاده در این تحقیق، موتور استنتاج ممدانی است. در تابع عضویت خروجی سه بازه‌ی سالم تا تخریب کم، تخریب زیاد و ویران در نظر گرفته شده است. در شکل (۷)، تابع عضویت بکار رفته در بخش خروجی نمایش داده شده است.



شکل ۷: تابع عضویت مورد استفاده در بخش خروجی سیستم استنتاج فازی

محصول نهایی این تحقیق، نقشه تخریب بوده که در آن وضعیت ساختمان‌های کاندید از لحاظ سالم یا تخریب شده، در سه کلاس مشخص می‌شود. نقشه تخریب، شامل ۲۵۰ ساختمان کاندید است که وضعیت آنها پس از وقوع زلزله توسط الگوریتم مورد نظر بررسی شده و هرکدام از آنها در یکی از سه کلاس سالم تا تخریب کم، تخریب زیاد و ویران قرار گرفته‌اند. جدول (۲) نتیجه اعمال

روش مورد استفاده در نافازی‌سازی خروجی‌ها، روش نقطه مرکزی (سنتروید)، روش مورد استفاده مینیم و روش تجمیع ماکزیمم است. خروجی سیستم استنتاج فازی برچسب‌زنی به ساختمان ورودی است که می‌تواند یکی از کلاس‌های سالم، تخریب کم تا متوسط، تخریب زیاد و ویران باشد.

الگوریتم پیشنهادی بر روی ساختمان‌های مورد مطالعه و شکل (۸) کلاس تخریب آنها تعیین می‌گردد. جدول (۳) ماتریس خطا و دقت نتیجه نهایی نقشه تخریب می‌باشد.

جدول ۳: ماتریس خطا و دقت بدست آمده از انجام الگوریتم پیشنهادی در تعیین تخریب ساختمان

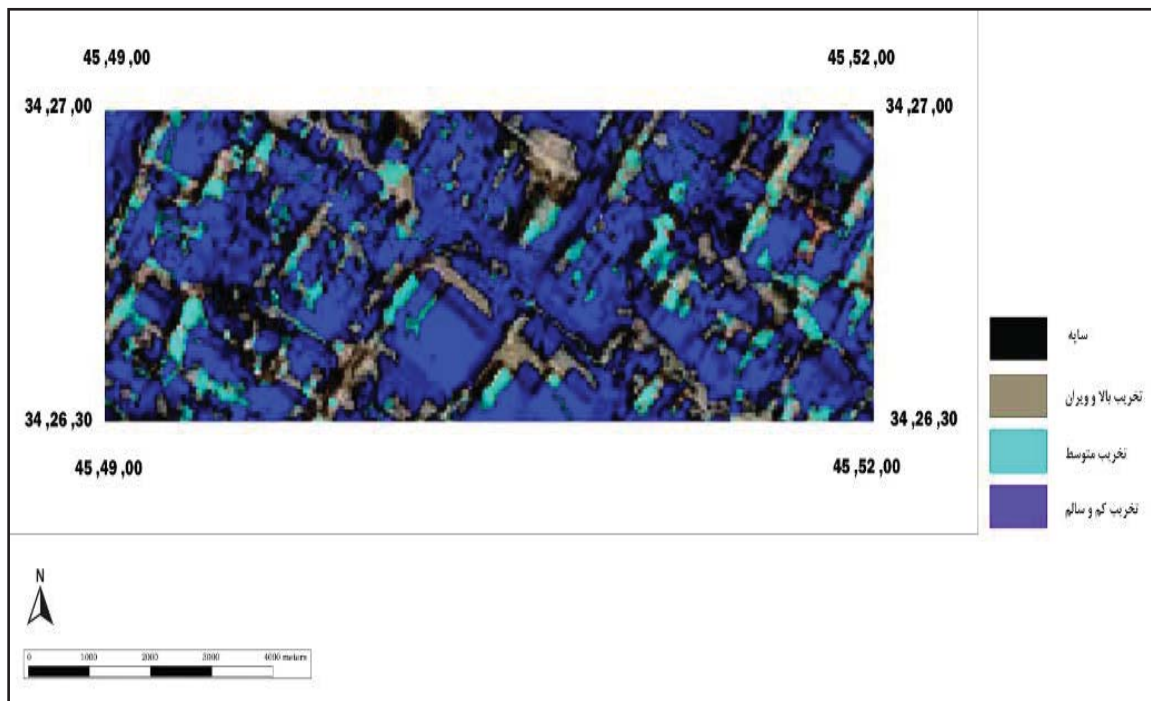
نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی					
دقت سازنده	حذف خطا	ویران	تخریب زیاد	سالم تا تخریب کم	
۰/۶۰	۰/۴۰	۱	۳	۱۸	سالم تا تخریب کم
۰/۶۷	۰/۳۳	۳	۹	۲	تخریب زیاد
۰/۷۳	۰/۲۷	۱۰	۴	۰	ویران
		٪۲۸	٪۳۲	٪۴۰	خطای اجرا
دقت نهایی ۰/۷۴		٪۷۲	٪۶۸	٪۶۰	دقت کاربر

$$\frac{(18 + 9 + 10)}{50} = 0.74 \text{ دقت نهایی } = 0.74$$

جدول ۲: نتیجه اعمال الگوریتم پیشنهادی بر روی ساختمان‌ها منطقه مورد مطالعه

تعداد ساختمان‌ها در هر کلاس	کلاس مربوط به وضعیت ساختمان‌ها پس از وقوع زلزله
۸۷	سالم تا تخریب کم
۹۹	تخریب زیاد
۶۴	ویران
۲۵۰	تعداد کل ساختمان‌ها

در این بخش با تشکیل ماتریس خطا و استفاده از داده‌های تست ساختمان‌هایی که وضعیت آنها از لحاظ سالم یا تخریب بودن مشخص است، دقت روش پیشنهادی محاسبه می‌گردد. بدین منظور ۵۰ ساختمان تست که تعیین وضعیت شده‌اند وارد الگوریتم شده و



شکل ۸: نقشه تخریب حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم ارائه شده در تحقیق

نتیجه‌گیری

الگوریتم پیشنهادی جهت تعیین تخریب ساختمان‌ها پس از وقوع زلزله، با استفاده از داده‌ی نوری قبل از وقوع زلزله و تصویر با قدرت تفکیک مکانی ۱ متر مربوط به پس از وقوع زلزله انجام شد. از تصویر قبل از وقوع زلزله نیز به منظور تعیین وضعیت تخریب ساختمان‌های مرجع و همچنین تفسیر نتایج حاصل از خوشه‌بندی استفاده شد. کارایی و اهمیت استفاده از ویژگی‌های بافتی در تعیین و کشف مناطق آسیب‌دیده در اثر وقوع زلزله، با فرض اینکه تخریب بر روی بافت ساختمان‌ها تأثیر گذاشته و

و خاکستری توسط الگوریتم خوشه‌بندی مورد استفاده تعیین شد. برچسب‌زنی به این کلاس‌ها با مقایسه ساختمان‌های مرجع و خروجی خوشه‌بندی آنها انجام پذیرفت. با استفاده از نرم‌افزار متلب (MATLAB)، تمام کلاس‌های موجود در سقف ساختمان‌ها شمرده شد. در طراحی سیستم استنتاج فازی، ورودی‌های سیستم، درصد حضور هر کلاس در هر ساختمان بود. سیستم استنتاج فازی مذکور در مرحله خروجی به هر کدام از ساختمان‌ها، یکی از برچسب‌های سالم تا تخریب کم، تخریب زیاد و ویران را اطلاق کرد. نتایج حاصل به نقشه‌ی موجود از پلیگون‌های استخراجی اعمال شد و نقشه‌ی تخریب به عنوان محصول نهایی این تحقیق حاصل گشت. دقت کلی طبقه‌بندی ساختمان‌ها در کلاس‌های تخریب بالا بود که کارایی الگوریتم پیشنهادی در این تحقیق را نشان می‌دهد. روش پیشنهادی در تعیین تخریب ساختمان‌های سالم و ویران، عملکرد قابل قبولی از خود بر جای گذاشت. در مواجهه با ساختمان‌های دارای تخریب کم و تخریب زیاد، الگوریتم عملکرد خیلی مطلوبی ندارد. دلیل این امر را می‌توان در موارد مختلفی جستجو نمود. از جمله این موارد می‌توان به دقت در تعیین ساختمان‌های مرجع، کوچک بودن سقف ساختمان‌های مورد بررسی، ایجاد سایه‌های غیر متعارف توسط درختان و دیوارهای بلند موجود در اطراف ساختمان و قدرت تفکیک مکانی تصویر اشاره نمود. همچنین، الگوریتم در تشخیص کلاس تخریب ساختمان‌های سالمی که دارای اجسام و سایه‌های بزرگ بر روی سقف خود هستند، عملکرد مطلوبی ندارد. همچنین تعیین کلاس ساختمان‌های سالمی که دارای دیواری مشترک هستند، به دلیل تولید بیش از حد لبه، چند مورد تشخیص اشتباه وجود داشت. حدود ۴۵ درصد از ساختمان‌های کوچکی که دارای تخریب زیاد بودند، به کلاس ویران نسبت داده شدند. اطلاعات فوق با توجه به مراجعه و حضور در محل، در بازه‌ی زمانی هفته اول بعد از زلزله و با در نظر گرفتن ساختمان‌های مرجع ارائه شده‌اند. در کل الگوریتم پیشنهادی در تعیین تخریب ساختمان‌های متعارف و با اندازه‌ی متوسط رو به بالا، عملکرد قابل قبولی را نشان می‌دهد و در تعیین تخریب ساختمان‌های غیرمتعارف، الگوریتم عملکردی نه چندان خوب دارد. دلایل غیرمتعارف بودن ساختمان‌ها می‌توانند در موارد ذیل جستجو شوند:

باعث تغییراتی روی تصاویر بافتی می‌گردد، در تحقیقات مختلف ثابت شده است. در این تحقیق با استفاده از ویژگی‌های بافتی آماری مرتبه اول میانگین، واریانس و همچنین ویژگی‌های بافتی استخراجی از ماتریس هم‌اتفاق، تصاویر بافتی سقف ساختمان‌های کاندید استخراج گردید. کارایی استفاده از ویژگی‌های بافتی در این تحقیق نیز به اثبات رسید.

در بحث استخراج ویژگی‌های بافتی، استفاده از پنجره پردازشی با ابعاد پیکسل 5×5 در تولید تصاویر بافتی، اطلاعات کافی و مفیدی در رابطه با بافت مربوط به سقف تصاویر در اختیار می‌دهد. جهت انتخاب ویژگی‌های بافتی بهینه از یک الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک استفاده شد. الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک در حل مسائل غیرخطی دارای توانایی‌های بالایی است. در این تحقیق نیز از آنجایی که مسئله‌ی تعیین ویژگی‌های بافتی بهینه، مسئله‌ای غیرخطی است، از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک استفاده شد که ضریب کاپای حاصل از طبقه‌بندی در بهترین حالت به عدد $0/7411$ رسید. این عدد نشان دهنده‌ی کیفیت بالای ویژگی‌های انتخابی توسط الگوریتم ژنتیک است. میانگین ضرایب کاپای تمام کروموزوم‌های تولید شده در الگوریتم معادل با عدد $0/7094$ بود. این دو عدد بیان‌کننده‌ی این نکته هستند که جمعیت اولیه و پارامترهای ورودی مسئله دارای کیفیت و قدرت بالایی در طبقه‌بندی هستند. بدین صورت، مفید بودن ویژگی‌های آماری مرتبه اول و هارالیک مورد تأیید قرار گرفت. در مرحله‌ی خوشه‌بندی، نتایج حاصل از الگوریتم‌های خوشه‌بندی ایزودیتا با اعمال پارامترهای ۵ کلاس طبقه‌بندی، ۲۵ بار تکرار انجام شد. این خوشه‌بندی‌ها با استفاده از ویژگی‌های بافتی بهینه پیاده‌سازی شدند. در صورت عدم استفاده از ویژگی‌های طیفی، بسیاری از سایه‌های موجود در مناطق ساختمانی، به درستی مشخص نمی‌شدند. لذا جهت داشتن تمام اطلاعات طیفی و بافتی، از تلفیق بافت‌های بهینه و باندهای طیفی استفاده شد. پس از انجام خوشه‌بندی بر روی ساختمان‌های مرجع، ایده‌ی اصلی برای تعیین حضور کلاس‌های مختلف بر روی سقف ساختمان‌ها، شمارش تعداد پیکسل‌های موجود در هر کلاس و محاسبه‌ی نسبت تعداد آنها به تعداد کل پیکسل‌های مربوط به سقف ساختمان‌ها بود. بر روی سقف تمام ساختمان‌های کاندید، سه کلاس با رنگ‌های آبی، آبی فیروزه‌ای



جانعلی پور، میلاد (۱۳۹۲): بررسی و تعیین میزان تخریب ساختمان‌ها در اثر زلزله با استفاده از منطق فازی و آنالیز شی مینا تصاویر، تهران: پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. بازیابی از:

<http://s17.picofile.com/file/8411805434/Jalili001.pdf.html>

مناقی، طیبه (۱۳۹۳): شناسایی تغییرات ساختمان‌ها پس از زلزله با استفاده از تلفیق تصاویر نوری و راداری، تهران: پایان‌نامه کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. بازیابی از:

<http://s17.picofile.com/file/8411805684/003.pdf.html>

حامدنیاء، یاسر (۱۳۹۴): توسعه مدلی مبتنی بر فناوری سنجش از دور (اپتیکی) به منظور برآورد خسارت ساختمان‌ها در برابر زلزله، تهران: پایان‌نامه کارشناسی ارشد زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. بازیابی از:

<http://s16.picofile.com/file/8411806426/toseh.docx.html>

بهاء‌الدینی، مهدی؛ منظوری، فرزاد (۱۳۸۶): الگوریتم ژنتیک و کاربرد آن در حل مسائل MILP، شیراز: سمینار مهندسی صنایع، دوره یکم بازیابی از:

<http://s16.picofile.com/file/8412900492/GA.pdf.html>

Kislov, k.v, Gravirov, v.v, (2018), Deep Artificial Neural Networks as a Tool for the Analysis of Seismic Data, ISSN 0747-9239, Seismic Instruments, 2018, Vol. 54, No. 1, pp. 8–16. © Allerton Press, Inc., 2018. Retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.3103/S0747923918010073>

Jinghai, Xu, Haijun, zhou, Gaozong, Nie, Jiwen, An, (2020), Plotting earthquake emergency maps based on audience theory, International Journal of Disaster Risk Reduction 47 (2020) 101554, 2020. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212420919309343>

XIAOWEI, JI, YING, CU, HENG, WANG, LONG, TENG, LINGXIU, WANG, LIGUO, WANG, (2019), Semisupervised Hyperspectral Image Classification Using Spatial-Spectral Information and Landscape Features, Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2019.2946220, 2019. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/336431964_Semisupervised_Hyperspectral_Image_Classification_Using_Spatial-pectral_Information_and_Landscape_Features

Alshehhi, R, Marpu, p, Woon, W, Mura, M, (2017), Simultaneous extraction of roads and buildings in remote sensing imagery with convolutional neural networks, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 130 (2017), 139-149. Retrieved from: <https://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/157885.pdf>

Verma, V., Kumar B., Genetic algorithm: an overview and its application, International Journal of advanced studies in Computer Science and Engineering, IJASCSE, Volume 3, Issue 2, 2014, 21-27. Retrieved from: http://www.ijascse.org/volume-3-issue-2/Genetic_algorithm.pdf

Kerle, N, Oppenheimer, C, (2002), Satellite Remote Sensing as

• کوچک بودن بیش از حد ساختمان‌ها

• چند تکه‌ای بودن سقف ساختمان‌ها

• وجود سایه‌های بزرگ تولید شده توسط درخت یا دیوارهای اطراف ساختمان

• همجواری ساختمان‌های نسبتاً کوچک

در بحث مقایسه با الگوریتم‌های ارائه شده توسط راستی و همکاران (ح، راستی و یسی، ۱۳۸۶)، با دقت کلی ۷۷/۵ و (گوزلا و همکاران، ۲۰۰۵) با دقت کلی ۷۲ درصد، روش پیشنهادی (با دقت کلی ۷۴ درصد) را می‌توان روشی معتبر و دقیق به حساب آورد.

در پایان می‌توان پاسخ دو پرسش تحقیق را اینگونه بیان نمود که: در کل، استفاده از داده‌های نوری جهت استخراج ساختمان‌های کاندید مثبت ارزیابی می‌شود و با استفاده از الگوریتم ژنتیک و تصاویر ماهواره‌ای بدون حضور مستقیم، با دقتی برابر ۷۴ درصد می‌توان اقدام به شناسایی ساختمان‌های سالم و یا آسیب‌دیده کرد. در نهایت استفاده از این روش مثبت ارزیابی می‌شود.

منابع

حسین زاده ده‌آبادی، علی اصغر؛ ارگانی، میثم؛ درویشی بلورانی، علی (۱۳۹۸): بررسی و استخراج تخریب‌های ساختمانی ناشی از وقوع زلزله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک زیاد، مجله مدیریت مخاطرات محیطی، دوره ۶، صفحات ۲۵۷ – ۲۳۹. بازیابی از: <https://www.magiran.com/paper/2121418>

جانعلی پور، میلاد؛ عباس زاده طهرانی، نادیا؛ محمد خانلو، حکمت‌الله؛ خضالی، الهه؛ عنایتی، حمید (۱۳۹۸): شناسایی سریع مناطق آسیب‌دیده پس از وقوع زلزله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-۲ (مطالعه موردی شهرستان سرپل ذهاب)، مجله مدیریت مخاطرات محیطی، دوره ۶، شماره ۲، صفحات ۱۴۸-۱۳۱. بازیابی از: https://jhsci.ut.ac.ir/article_72983.html

راستی و یسی، حیدر (۱۳۸۶): تعیین میزان تخریب ناشی از زلزله در ساختمان‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا، تهران: پایان‌نامه کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تهران. بازیابی از: <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/28d85dc42df0aecd44184d90a4107ea0>

نیک نام، امیر (۱۳۹۱): طراحی یک سیستم فازی جهت تعیین تخریب ساختمان‌ها پس از وقوع زلزله با استفاده از داده‌های سنجش از دوری، تهران: پایان‌نامه کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. بازیابی از: <http://s16.picofile.com/file/8411805642/002.pdf.html>



- a Tool in Lahar Disaster Management. *Disasters*, 26(2), PP. 140-160. Retrieved from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1467-7717.00197>
- Building Damage Assessment Using Intensity SAR Data with Different Incidence Angles and Longtime Interval,)2019(Volume 14 Issue 3 Pages 456-465. Retrieved from: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jdr/14/3/14_456/_article/-char/en
- Ayans, J, Verstratete M, Pinty, B, Meyer-Roux, J. and Schmuck, G, (1997), The Use of Existing and Future Remote Sensing Systems in Natural Hazard Management Specifications and requirements, <http://naturalhazards.jrs.it/documents/fires/1997-presentations/enarmors.pdf>, accessed 19 August, 2003. Retrieved from: <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea66e/ch04.htm>
- Lu, L., Huadong, G., Corbane, C., Pesaresi, M., Ehrlich, D., (2012), Rapid Damage Assessment of Buildings with VHR Optical Airborne Images in Yushu Earthquake, *Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE)*, 2012 2nd International Conference on , vol., no., pp.1,3. Retrieved from: <https://www.iclr.org/wp-content/uploads/PDFS/role-of-remote-sensing-in-disaster-management.pdf>
- Dekker, R.J., (2012), High-Resolution Radar Damage Assessment after the Earthquake in Haiti on 12 January 2010, Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, *IEEE Journal*. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/260511250_High-Resolution_Radar_Damage_Assessment_After_the_Earthquake_in_Haiti_on_12_January_2010
- FuzzyTutorial. (2010). «A Short Fuzzy Logic Tutorial», from <http://www.scribd.com/doc/60832552/A-Short-Fuzzy-Logic-Tutorial>. Retrieved from: http://cs.bilkent.edu.tr/~zeynep/files/short_fuzzy_logic_tutorial.pdf
- Ahadzadeh, S., Valadanzouj, M., Sadeghian, S., Ahmadi, S., (2008), Detection of Damaged Buildings After an Earthquake Using Artificial Neural Algorithm, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B8, Beijing. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/237312703_DETECTION_OF_DAMAGED_BUILDINGS_AFTER_AN_EARTHQUAKE_USING_ARTIFICIAL_NEURAL_NETWORK_ALGORITHM
- Brunner, D., Schulz, K., Brehm, T., (2011), Building damage assessment in decimeter resolution SAR imagery: A future perspective,» *Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, 2011 Joint, vol., no., pp.217-220. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/251997812_Building_damage_assessment_in_decimeter_resolution_SAR_imagery_A_future_perspective
- Yanamura, Y, and Saji, H., (2003), Automatic Registration of Aerial Image and Digital Map for Detection of Earthquake Damaged Areas. *Proceedings of the VIIth Digital Image Computing: Techniques and Applications*, 117-126. Retrieved from: <http://staff.itee.uq.edu.au/lovell/aprs/dicta2003/pdf/0117.pdf>
- Gusella, L., Huyck, C. K., Adams, B. J., Hung Chung, S. C., (2005), Damage Assessment with Very High Resolution Optical Imagery Following the December 26, 2003 Bam, Iran Earthquake. *University of Bologna*. Retrieved from: http://s17.picofile.com/file/8412763126/Paper_Huyck_.pdf.html