

طراحی و پیاده سازی سیستمی جهت شناسایی انسداد راه‌ها با استفاده از منطق فازی و ماشین بردار پشتیبان (مطالعه موردی: زلزله بم)

معین ایزدی^۱، علی محمد زاده^{۲*}، آتنا حقیقت طلب^۳

^۱ کارشناس ارشد فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
moeninizadi@gmail.com

^۲ دانشیار گروه سنجش از دور و فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
almoh2@gmail.com

^۳ دانشجوی دکتری جغرافیا - گروه جغرافیا - دانشگاه کانزاس آمریکا
Athena.ht@gmail.com

(تاریخ دریافت آبان ۱۳۹۳، تاریخ تصویب آذر ۱۳۹۴)

چکیده

تشخیص راه‌های تخریب شده در اثر آوار و تعیین درجه‌ی انسداد آنها به منظور امداد رسانی سریع و بهینه پس از بلایای طبیعی امری حیاتیست. در این تحقیق از یک رویکرد ابتکاری برای تشخیص و ارزیابی راه‌های تخریب شده به صورت نیمه اتوماتیک استفاده شده است که از تصاویر پیش و پس از زلزله به همراه نقشه‌ی برداری راه‌ها بهره می‌جوید. منظور از تخریب و انسداد در این پژوهش؛ آوار حاصل از ساختمانها و همچنین حضور خودروهای پارک شده بر سطح راه بود که طبیعتاً این حضور امر امداد رسانی را با اشکالاتی همراه می‌کند. ویژگی‌های مختلفی به منظور طبقه‌بندی سطح راه‌ها همچون "شاخص سایه" و "شاخص گیاهی" بکار گرفته شد و سپس از یک الگوریتم ژنتیک برای یافتن ویژگی‌های بهینه که فاقد همبستگی و یا خطا باشند استفاده گردید. در این کوشش به منظور دستیابی به دقت کلی بالاتر در تشخیص تخریب از بین دو طبقه بندی کننده نظارت شده MLL و SVM و با روش آزمون و خطا؛ طبقه بندی کننده‌ی ماشین بردار پشتیبان انتخاب شد که نتایج بهتری نسبت به طبقه بندی کننده‌ی بیشترین شباهت در مرحله ی تشخیص تخریب داشت. در انتها از یک سیستم استنتاج فازی "ممدانی" برای ارزیابی درجه‌ی تخریب یک قطعه از راه استفاده شد و با تعیین یکسری ضوابط آماری روی تعداد قطعات با درجه تخریب معین در یک راه مشخص؛ میزان تخریب به کل آن راه تعمیم یافت. روش مذکور بر روی تصاویر سنجنده‌ی Quick Bird از شهر بم ایران تست شد و نتایج دقت بالای ۹۳ درصد و ضریب کاپای ۰٫۹۱ را در مرحله‌ی تشخیص تخریب نشان می‌دهد. همچنین بیش از ۸۰ درصد از راه‌های مورد مطالعه برچسب تخریب صحیح در سه سطح گرفتند که با داده‌های چشمی و تفسیر بصری توسط اپراتور همخوانی داشت. همچنین نقشه‌ی قطعات مسدود راه‌ها با قابلیت ارائه به پروژه‌های امداد رسانی بدست آمد که دقت بهتر و جزئی تری را عرضه مینمود. این امر نشان از کارایی بالای الگوریتم پیشنهادی دارد.

واژگان کلیدی: ارزیابی تخریب راه‌ها، ماشین بردار پشتیبان، سیستم استنتاج فازی، الگوریتم ژنتیک، تصویر Quickbird

۱- مقدمه

زلزله یکی از بی رحم ترین بلاهای طبیعی بوده که گاهی می‌تواند باعث ویرانی و خسارات زیادی در مناطق شهری شود. راه‌ها یکی از اصلی ترین شریانهای حیاتی در مناطق مسکونی به حساب می‌آیند که ممکن است توسط بلاهای طبیعی آسیب ببینند و بخش یا کل کارایی خود را به دلیل انسداد ناشی از آوار انبیهی مجاور خود از دست بدهند. پس از وقوع زلزله حضور عوارض ساخت دست بشر همچون خودروهای پارک شده در مناطقی که آوار حضور دارد؛ میزان سلامت و کارایی راه‌ها را بیش از پیش مختل می‌سازد. از این رو گروه‌های امدادی برای امداد رسانی مجروحین و بازماندگان نیازمند اطلاعاتی در مورد میزان تخریب راه‌های پیش رو هستند تا با زمانبندی مناسب و از مسیر مناسب به مناطق و ساختمانهای آسیب دیده دست پیدا کنند. از آنجا که روش‌های سنتی (منابع انسانی) برای اطلاع یافتن از میزان تخریب بسیار زمانبر، پرهزینه و مخاطره آمیز هستند؛ رویکرد استفاده از تصاویر ماهواره ای با دقت بالا و پوشش گسترده همچون تصاویر سنجنده QuickBird می‌توانند به سرعت و بمنظور نیازهای اورژانسی؛ منابع غنی از اطلاعات مکانی و طیفی مورد نیاز در تشخیص و ارزیابی مناطق بحرانی را فراهم آورند. بنابر این توسعه‌ی یک الگوریتم شبه‌اتوماتیک برای شناسایی تخریب و آسیب به عوارض شهری توسط این تصاویر یک موضوع چالش برانگیز در مدیریت بحران می‌باشد. تاکنون الگوریتم‌های فراوانی برای تشخیص ساختمانهای تخریب شده در مناطق شهری طراحی و توسعه داده شده است [۲۲، ۲۳، ۲۴] که مقایسه‌ی جامعی هم توسط شخصی بنام Dong در سال ۲۰۱۳ پیرامون روش‌های مختلف در ارزیابی تخریب ساختمان‌ها انجام گرفته است [۱۹]. در حالی که به دلیل پیچیدگی‌های عارضه راه؛ مطالعات محدودی بر روی آنها صورت گرفته است. از آنجا که تعیین میزان تخریب ساختمانها بدون امکان امداد رسانی و دسترسی به آنها (توسط خودروهای امداد رسان و از طریق راه‌ها) بی فایده و بلا استفاده خواهد بود؛ از این رو پس از یک بحران زیست محیطی تعیین وضعیت راه‌ها نسبت به تعیین وضعیت ساختمانها در اولویت قرار می‌گیرد.

۲- پیشینه تحقیق

همانطور که اشاره شد تحقیقات محدودی در ارزیابی خسارت به راه‌ها انجام گرفته است. از آن جمله صمدزادگان و زرین پنجه در سال ۲۰۰۸ در روشی برای تشخیص تخریب راه‌ها از نقشه‌ی برداری^۱ و تصویر پس از زلزله استفاده نمودند. آنها از قطعه بندی تصویر برای یک روش شی‌گرا^۲ استفاده کردند که از یکسری ویژگی‌های بافتی برای تشخیص تخریب استفاده میکرد. در آن تحقیق ویژگی‌های بهینه به صورت چشمی استخراج شد که فرآیندی زمانبر و وابسته به خطای انسانی میباشد و اتوماسیون پایینی را هم به الگوریتم تحمیل میکند. سپس از یک سیستم استنتاج فازی^۳ سه مرحله‌ای برای شناسایی ماشین؛ سایه و ساختمان در سطح راه و سپس حذف آن از تصویر بهره بردند که کارایی الگوریتم را بالا برد. نهایتاً راه را بر اساس آنالیز پروفیل و شمارش پیکسل‌های آن در نقاط تخریب به دو دسته‌ی مسدود و غیر مسدود تقسیم کردند که سطوح مختلف و متنوع تخریب را ارائه نمی‌کرد. همچنین محل و تعداد پروفیل‌ها حجم پردازش بالایی را میتواند به مسئله وارد نماید [۱]. بنا بر این استفاده از الگوریتمی همچون ژنتیک در انتخاب دسته‌ی ویژگی‌های بهینه برای طبقه بندی تصویر میتواند در کنار اتوماسیون بالاتر از خطا و همبستگی بین باند‌ها بکاهد که بدون اضافه کردن اطلاعاتی به طبقه بندی کننده؛ حجم محاسبات را افزایش میدهند. ضمناً نیاز است که آنالیز پروفیل به نحوی بهبود و توسعه یابد (با بخش بندی راه‌ها به قطعات چند متری) تا از حجم محاسبات کاسته شود. در تحقیق دیگری توسط Xiaoli و همکاران در سال ۲۰۱۳ ابتدا با قطعه بندی چند مقیاسه^۴ اقدام به شناسایی قطعات تصویر کردند. سپس با کمک طبقه بندی شی‌گرا از یکسری توصیفگرها از جمله طیف؛ بافت و ویژگی‌های هندسی برای قطعات بهره بردند. در نهایت با رجیستر^۵ کردن تصویر طبقه بندی با نقشه‌ی برداری پیش از زلزله مدعی تشخیص درجه‌ی تخریب و موقعیت بخش‌های مختلف راه شدند [۲]. این پژوهش فاقد فرآیند تصمیم‌گیری برای تعیین میزان تخریب برای کل

^۱ Vector map

^۲ Object-oriented

^۳ Fuzzy inference system

^۴ Multi scale

^۵ registration

از زلزله استخراج کردند و سپس با کمک ویژگی های طیف و بافت و طبقه بندی کننده OCSVM عوارض سطح راه را به دو کلاس "تخریب" و "راه سالم" تقسیم نمودند. سپس به منظور پالایش و اطمینان بیشتر نسبت به شناسایی صحیح تخریب؛ از یک روش شناسایی ساختمانهای تخریب شده در مجاورت همان راه استفاده کردند. به این منظور با تعیین بافر^۳ با عرض محدود در دو طرف مرز^۴ راه اقدام به شناسایی ساختمانهای تخریب شده نمودند. در انتها نواحی تخریب شده (کلاس تخریب) بر روی راه که در مجاورت ساختمانهای تخریبی قرار داشتند را به عنوان مناطق تخریب واقعی نگه داشته و مابقی حذف شدند [۵]. در این روش سایر عوارض فرو ریخته بر روی سطح راه از جمله خودروهای پارک شده که همچون آوار عمل میکنند در طبقه بندی با OCSVM نادیده گرفته شدند. الگوریتم تنها به شناسایی تخریب پرداخته و فاقد یک سیستم ارزیابی بمنظور تعیین سطوح مختلف تخریب همچون سیستم فازبست. همچنین Haghghattalab و همکاران در سال ۲۰۱۰ از تصاویر پیش و پس از زلزله به همراه نقشه ی برداری بمنظور شناسایی راه ها استفاده نمودند. در آن روش ابتدا تصاویر قطعه بندی شدند و ویژگی های مورد نیاز برای طبقه بندی از اختلاف دو تصویر پیش و پس از زلزله بدست آمد که فاقد توجه مشخصی بود. سپس از طبقه بندی کننده ی نزدیکترین همسایگی^۵ استفاده گردید.

دقت قطعه بندی و تشخیص کلاس تخریب صرفا با کنترل چشمی ارزیابی شده بودند. سپس از یک سیستم فازی بمنظور تعیین دو درجه ی تخریب استفاده شد [۱۱] خروجی الگوریتم فاقد درجه تخریب متوسط بود. همچنین در این روش در ارزیابی تخریب راه ها؛ با هر راه تنها به صورت مستقل و کلی برخورد شده است (کل یک راه یا سالم است یا مسدود). بدین منظور ممکن است در اثر همجواری و تقاطع یک راه سالم با بخش سالم از یک راهی که برچسب تخریب "مسدود" گرفته است؛ بخشی از این اتصال قابل دسترسی و سرویس دهی باشد که با این رویکرد نادیده گرفته میشود و امداد رسانان را از بخشی از راه محروم میسازد. بنا بر این نیاز است تا نقشه ی جزئی تری در سطح تخریب مقاطع ارائه گردد. در تحقیق پیش

یک قطعه راه بود. از این رو نیاز به اعمال یکسری شروط آماری روی تعداد قطعات با تخریب متفاوت داخل هر راه میتوانست به دستیابی به یک نقشه تخریب کلی و سریع کمک نماید. همچنین تدبیری برای برخورد با دو کلاس گیاهان و خودرو بر روی جاده در نظر گرفته نشده است که از جنبه های عدم قطعیت در ارزیابی تخریبند و میتوان با کمک منطق فازی و کمک از دانش انسانی با آنها برخورد نمود. در سال ۲۰۱۲ Gong و همکاران از روش شناسایی تغییرات^۱ شی گرا با کمک نقشه ی برداری راه های پیش از زلزله و تصویر پس از زلزله برای شناسایی مناطق تخریب شده استفاده نمودند. آنها پس از طبقه بندی تصویر پس از زلزله و شناسایی راه های مناسب با ایجاد پلیگون راه با کمک خطوط برداری راه های پیش از زلزله از آن به جای تصویر پیش از زلزله استفاده نمودند و با تفریق تصویر و سطح پلیگون ها از هم مناطق تخریب شده را شناسایی کردند [۳]. این روش تنها در مناطقی از راه که عریض و فاقد پیچیدگی عوارض باشند جوابگوست. در این حالت ها باید به منظور جلوگیری از تعبیر اشتباه سایه، درخت و خودرو به تخریب؛ آنها را حذف نمود و یا از سیستمی پشتیبانی کننده از تصمیم گیری بر مبنای دانش انسانی همچون فازی بهره جست. در تحقیق دیگری J, Li و همکاران در سال ۲۰۱۰ با یک رویکرد نوین درجات تخریب بر اساس ترافیک قابل عبور در چهار سطح را تعریف کردند. در این الگوریتم ابتدا مناطق و نواحی تخریب شده از اختلاف تصویر پیش از زلزله با تصویر قسمت های دست نخورده از راه های پس از زلزله بدست آمد. سپس این نواحی تخریب شده قطعه بندی شدند و این قطعات با الگوریتم رشد ناحیه ای^۲ به بلوک های کوچکتری تقسیم شدند. سپس از پنج شاخص طول، عرض، مساحت بلوک، تعداد بلوک های تخریب و تعداد بلوک با تخریب کامل برای ارزیابی چهار سطح تخریب استفاده شد [۴]. برخلاف ادعای تحقیق در مورد کارایی الگوریتم متناسب با کاربردهای امدادی؛ این روش با معرفی چهار درجه تخریب باعث سردرگمی امداد رسانها خواهد شد. در این خصوص نهایتا سه سطح تخریب کفایت خواهد نمود. در جای دیگری Li, p و همکاران در سال ۲۰۱۱ ابتدا نواحی راه را با کمک نقشه ی برداری پیش

^۳ buffer

^۴ boundary

^۵ Nearest neighbourhood

^۱ Change detection

^۲ Region growing

رو بدنبال روشی هستیم که بتواند با اتوماسیون بالاتر از تحقیقات مشابه عمل کند. بطور نمونه در انتخاب ویژگی های بهینه از الگوریتم ژنتیک استفاده کند که علاوه بر حذف باندهای اشتباه و دارای همبستگی؛ دقت مرحله تشخیص تخریب را بالاتر ببرد. ضمناً کارآمدی استفاده از طبقه بندی کننده SVM نیز در این تحقیق با طبقه بندی کننده های کلاسیک مقایسه خواهد شد که با ویژگیهای یکسان دقت کلی بالاتری را ارائه میکند [۱۶]. دقت کلی بالاتر یعنی تشخیص صحیح تر پیکسلهای آوار (تشخیص تخریب بهتر). ضمناً با توسعهی رویکرد آنالیز پروفیل و تفکیک راه ها به قطعات مساوی؛ حجم پردازش و محاسبات کاهش چشمگیری خواهد یافت. همچنین با کمک منطق فازی از دانش انسانی در تصمیم‌گیری و ارزیابی سطوح تخریب بهره خواهیم جست که در تحقیقات گذشته کارایی آنها به اثبات رسیده است [۲۰]. در نهایت خروجی تخریب متنوع‌تری (سه سطح تخریب) را نسبت به برخی تحقیقات مشابه (دو و چهار سطح تخریب) ارائه خواهیم نمود که تناسب بهتری با درک امداد رسانی و اولویت‌بندی‌شان خواهد داشت. ضمناً نقشه‌ی تخریب جزئی‌تری در مقیاس مقاطع و با رویکرد کشف مقاطع مسدود ارائه خواهد گشت که به منظور کارهای امدادی از عملگرایی بالاتری برخوردار است.

۳- روش پیشنهادی

در این تحقیق با دو مرحله‌ی کلی رو برو خواهیم بود. مرحله‌ی نخست تشخیص و شناسایی تخریب با کمک طبقه‌بندی تصویر و مرحله‌ی دوم ارزیابی درجات تخریب بر اساس قابلیت عبوری آن راه میباشد. فلوچارت روش پیشنهادی در شکل ۱ آورده شده است. بدین منظور ابتدا تصویر پس از زلزله از نظر رادیومتریکی توسط دو الگوریتم برابرسازی و تناظریابی هیتوگرام بهبود یافت و تصاویر با کمک نقشه‌ی برداری پیش از زلزله که بروزرسانی شده بود زمین مرجع گردید (روش نقشه با تصویر). سپس با کمک محدوده‌ی بافر ایجاد شده از بردارهای راه و بر اساس عرض هر راه وارد عملیات ماسک کردن تصویر شد و نواحی راه شناسایی شدند. سپس تولید ویژگی‌هایی از نوع طیف؛ بافت و برخی شاخص‌ها و فیلترهای مرتبط با تصاویر انجام پذیرفت که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

سپس از بین دو طبقه‌بندی کننده نظارت شده مذکور؛ SVM انتخاب شد که دقت مرحله‌ی تشخیص تخریب را بالا میبرد. ویژگی‌های تصویر به دلیل وجود همبستگی؛ وارد الگوریتم ژنتیک شدند و نهایتاً با کمک دسته ویژگی‌های بهینه؛ تصویر پس از زلزله به پنج کلاس طبقه‌بندی شد. سپس تصویر راه‌ها با کمک قیود معادلات خط به قطعات ده متری تقسیم شدند و هر قطعه به صورت جداگانه وارد سیستم استنتاج فازی گشت و سطح تخریب هر قطعه مشخص شد در ادامه با ادغام مقاطع با دو سطح تخریب "سالم" و "متوسط" (که هر دو قابل عبور و مرورند) و نمایش تخریب هر مقطع با رنگ معین؛ نقشه‌ی تخریب مقاطع یا نقشه‌ی کشف انسداد ارائه گشت و در نهایت با وضع و بسط یکسری ضوابط بر اساس تعداد قطعات از درجه‌ی تخریب خاص؛ درجه‌ی تخریب کل یک قطعه راه معین شد.

۳-۱- پیش پردازش و آماده سازی داده ها

این مرحله خود شامل سه مرحله است. در روش پیشنهادی داده‌های در دسترس شامل نقشه‌ی برداری راه-ها و تصاویر پیش و پس از زلزله با دقت مکانی بالا و تهیه شده از سنجنده ی Quick bird میباشد. نقشه‌ی برداری در مقیاس ۱:۲۰۰۰ و مربوط به پیش از وقوع زلزله است. با توجه به تغییرات سریع مناطق شهری و شبکه‌ی راه‌ها؛ مسلماً نیاز به بروزرسانی این داده‌ها احساس میشود که این امر با از روی هم قرار گرفتنشان بر روی تصاویر رستری امکان پذیر است. مرحله‌ی اول زمین مرجع سازی داده‌ها و پن شارپن^۱ و بهبود تصویر میباشد. از آنجا که برای این منظور باید سیستم مختصات داده‌ها یکسان باشند؛ لازم است پیش از آن ابتدا تصاویر با کمک نقشه‌ی برداری و با استفاده از نقاط کنترل مشابه چشمی با توزیع همگون و مناسب در سطح منطقه و توسط یک چند جمله‌ای از درجه پایین زمین مرجع و هم مرجع شوند. با توجه به سادگی و یکنواختی منطقه مورد مطالعه افزایش درجه چندجمله‌ای باعث ایجاد خطا خواهد شد. حال بدینگونه فرآیند بروز رسانی بردارها میسر خواهد شد. همانطوری که ذکر شد تصاویر از سنجنده ی Quickbird تهیه شده‌اند که در باند چهارم خود تصویر پانکروماتیک

^۱ Pan sharpening

شناسایی عوارض و کلاس ها در سطح نواحی راه ها میگردند. اما به دلیل وجود خطای احتمالی در برخی باندها و همچنین همبستگی^۷ برخی از آنها با یکدیگر؛ نیاز به یک دسته‌ی انتخابی سازگار بین تمام انتخاب‌ها منطقی است. همانگونه که ذکر کردیم امکان وجود برخی از باند های دچار اشکال دقت طبقه بندی را مخدوش میسازد. بدین منظور و برای یافتن ترکیب بهینه؛ آنها را بعنوان دسته‌ای از ژن‌ها در یک کروموزوم وارد الگوریتم ژنتیک کرده و از آنجا که هدف رسیدن به دقت کلی و ضریب کاپای بالاتر است لذا از دقت کلی و یا ضریب کاپای طبقه بندی کننده‌ی ماشین بردار پشتیبان برای تابع هزینه^۸ استفاده خواهد شد. همچنین مقدار صفر برای یک ژن به معنای عدم حضور آن باند در فرآیند طبقه بندی و عدد یک به معنای حضور آن تلقی شد. در این الگوریتم از تکنیک هایی چون نخه گرایی^۹؛ جهش ژنی^{۱۰} و جفتگیری^{۱۱} بین والدین برتر از نسل قبلی به صورت تک نقطه و یا چند نقطه ای استفاده خواهد شد (تا همگرایی جواب‌ها)^[۶] [۱۲]. پارامترهای الگوریتم بر اساس مقادیر بیشتر توصیه شده و سعی و خطا انتخاب شدند.

۳-۴- پارته‌شن بندی^{۱۲} راه ها

استفاده از پروفیل های عرضی در مقاطع راه ها و شمارش فراوانی پیکسل های با برجسب راه نسبت به سایر پیکسل های کلاس ها عامل تعیین کننده ای برای قابل عبور بودن یا نبودن آن مقطع از راه است [۱]. اما در این صورت تنها در یک مقطع جواب دقیق خواهیم داشت و برای پوشش تمام سطح راه با حجم بسیار عظیمی از پردازش و محاسبات روبرو خواهیم بود. بنابر این راهکار مناسب افزایش پهنای پروفیل های عرضی در امتداد راه است. به نحوی که کل سطح راه را به صورت طولی پوشش دهد. به این منظور هر قطعه راه به قسمت های مساوی و قطعات با عرض تخمینی ده متر تقسیم خواهند شد که هم پوشش مناسب و تمرکز جزئی نگر بر روی بخش های راه داشته باشد و هم حجم محاسبات افزایش نیابد.

تولید خود ماسک الزامیست. این مهم با اجرای عملیات مالتی بافر^۱ روی بردار راه ها و بر مبنای ستون توصیفی با عرض هر راه مقدور میگردد.

۳-۲- تولید ویژگی و انتخاب طبقه بندی کننده

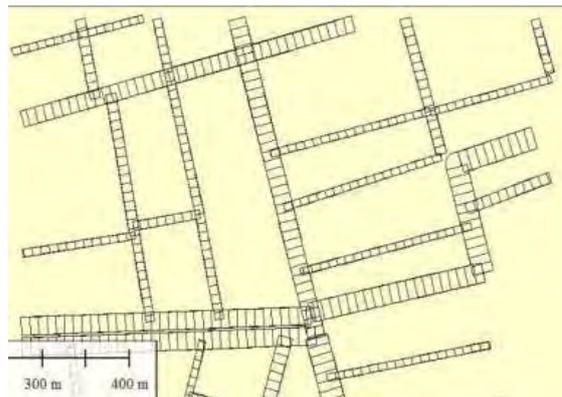
پس از آنکه تصویر نواحی راه ها به خوبی شناسایی شدند در این مرحله نوبت به استخراج برخی ویژگی های بافتی و برخی شاخص های طیفی محاسباتی از جمله شاخص گیاهی نرمال شده^۲ و شاخص سایه^۳ میرسد. از جمله ویژگی های بافتی به کار برده شده میتوان به ویژگی های تولید شده از ماتریس هم اتفاق^۴ یا GLCM همچون میانگین، وریانس، هموژنیتی، کنتراست، عدم شباهت، انترپوی، ممان دوم و همبستگی اشاره نمود [۱۰]. همچنین از ویژگی های بدست آمده از فیلترهای گابور^۵ در جهات و مقیاس های متفاوت (چهار جهت و پنج مقیاس بر اساس تجربه و تناسب) استفاده خواهد شد. در ابتدا طبقه بندی تصویر سطح راه ها که شامل پنج کلاس راه، آوار، سایه، درخت و ماشین بود توسط طبقه بندی کننده ی بیشترین شباهت [۸] و سپس ماشین بردار پشتیبان^۶ انجام خواهد گرفت. در ویژگی های ذکر شده شاخص سایه از حاصلضرب باند قرمز در مجموع دو باند سبز و قرمز و پس از نرمال سازی حاصل خواهد شد [۷] و شاخص گیاهی نرمال شده از تقسیم تفاضل دو باند قرمز و مادون قرمز بر مجموع آن دو بدست خواهد آمد. طبیعتاً این دو ویژگی موجب تسهیل در تشخیص دو کلاس سایه و گیاه در تصویر میشوند. پس از اینکه تصویر طبقه بندی شد همانگونه که در ادامه به آن خواهیم پرداخت این تصویر طبقه بندی شده منبع اصلی داده های ورودی به الگوریتم و بخش استنتاج آن خواهد شد.

۳-۳- الگوریتم ژنتیک

این ویژگی ها در نگاه اول و در کنار چهار باند اصلی خود تصویر تا مرحله ای باعث افزایش فضای ویژگی ها و به تعبیری باعث افزایش دانش طبقه بندی کننده به منظور

^۷ correlation
^۸ Cost function
^۹ elitism
^{۱۰} mutation
^{۱۱} mating
^{۱۲} partitioning

^۱ Multi buffer
^۲ NDVI
^۳ Shadow index
^۴ Co-occurrence matrix
^۵ Gabor
^۶ SVM



شکل ۴- حالت شماتیک تقسیم قطعات راه به قطعات ده متری

تعیین میزان انسداد و تخریب قطعات استفاده شد. در سیستم طراحی شده در این کوشش؛ تصمیم‌گیری بر اساس قوانین اگر- آنگاه و ورودی‌ها به سیستم استنتاج شامل میزان سهم کلاس‌های مختلف در قطعه‌ی مورد نظر بود. پس به تعداد کلاس‌ها ورودی به سیستم معرفی گردید و همچنین خروجی‌ها درجات تخریب معرفی شد که شامل چهار سطح سالم، تخریب کم، تخریب متوسط و ویران بودند. ضمناً برای هر کدام از کلاس‌ها به عنوان متغیر زبانی^۲ و با کمک توابع عضویت دوزنقه‌ای و گوسی^۳؛ سه مجموعه‌ی کم، متوسط و زیاد به کار گرفته شدند [۱۳]. به طور مشخص در دو کلاس درختان و کلاس خودروهای بر روی جاده ابهاماتی وجود داشت. از این رو نیاز بود تا یکسری پیش‌فرض برای دانش‌شخص خبره تعیین شود. یکی از پیش‌فرض‌ها در مورد درختان این بود که حضور تعداد بالای پیکسل‌های درخت نشان از وجود درخت‌های سالم در حاشیه‌ی راه دارد و عبور و مرور از زیر آنها مقدور می‌باشد. مورد بعدی مربوط به خودروهای بر روی سطح راه‌ها بود. همانطور که مشخص است؛ ماشین‌ها در حالت پارک شده خود می‌توانند عامل مزاحم بحساب آیند ازین رو آنها با پیش‌فرض زیر لحاظ شدند:

اگر در جایی آوار زیاد باشد حضور ماشین خود مانعی در امر امداد رسان نیست و در جایی که پیکسل‌های راه زیاد باشند وجود ماشین موید عبور و مرور در آن ناحیه است. در مورد سایه هم تا حدودی ابهاماتی وجود دارد که البته کمتر از موارد پیشین نتایج را تحت تاثیر قرار میدهد و آن هم اینکه وجود سایه‌های فراوان نشان از بناهای سالم در کنار راه دارد و سایه‌های جزئی احتمالاً مربوط به سایه‌های آوارها هستند که خود تاییدی بر وجود تخریب در آن ناحیه است [۱۵]. تمامی تعداد حالت‌های ممکن برای تشکیل پایگاه قواعد برای سیستمی با پنج ورودی که هر کدام به سه مجموعه تفکیک شده اند برابر با سه به توان پنج قانون خواهد شد تا تمام فضای ممکن را به طور کامل پوشش دهند. اما در عمل برخی از قوانین به دلایلی همچون غیر منطقی بودن و یا تناقض با برخی قوانین صحیح و یا عدم صراحت منطق آن قانون؛ موجودیت نمی‌آیند.

به طور نمونه چند قانون در ذیل آمده است:

اینجا در حقیقت پروفیل‌های عرضی به طرفین توسعه داده شد. حال با هر قطعه و برای تعیین انسداد آن به صورت مستقل برخورد خواهد شد. سپس در ادامه با تعیین میزان مساحت اشغال شده توسط هر کلاس در آن قطعه می‌توان از وضعیت قطعه راه مطلع شد. بنابر این با شمارش تعداد پیکسل‌ها از کلاس‌های مختلف در هر قطعه و محاسبه‌ی سهم هر کلاس در قطعه‌ی مورد نظر؛ ورودی‌های ما برای ورود به یک سیستم استنتاج و تصمیم‌گیری فازی که قابلیت مدل‌سازی در مورد پدیده‌های با عدم قطعیت را دارا می‌باشند فراهم خواهد شد.

۳-۵- استنتاج و تصمیم‌گیری در مورد میزان تخریب با منطق فازی

در مرحله‌ی بعد واضح است که هرچه شدت زمین لرزه و به طبع میزان آواری که از ساختمانها و ابنیه در مجاورت راه‌ها بیشتر باشد؛ برای عبور و مرور و امداد رسانی توسط خودروها پتانسیل بیشتری برای انسداد پیدا میکنند. اما سوال اینجاست که این دانش انسانی را که به صورت ناخودآگاه برای ما پذیرفتنی است چگونه میتوان به زبان تکنیک‌های مهندسی در مدیریت بحران در آورد.

همانطور که از نام آن پیداست منطق فازی ابزار است در حوزه‌ی ارتباط بین منطق حاکم بر دانش انسان (استنتاج و استنتاج) و محاسبات ریاضی؛ که اولین بار توسط شخصی بنام پروفیسور لطفی‌زاده مطرح گشت [۱۷،۲۱]. همانگونه که پیشتر آوردیم ویژگی اصلی استفاده از سیستم فازی توانایی در پذیرش دانش انسانی نسبت به مدل مورد نظر و تشکیل پایگاه قواعد فازی^۱ است. در اینجا از دانش فرد خبره برای

^۲ Linguistic variable

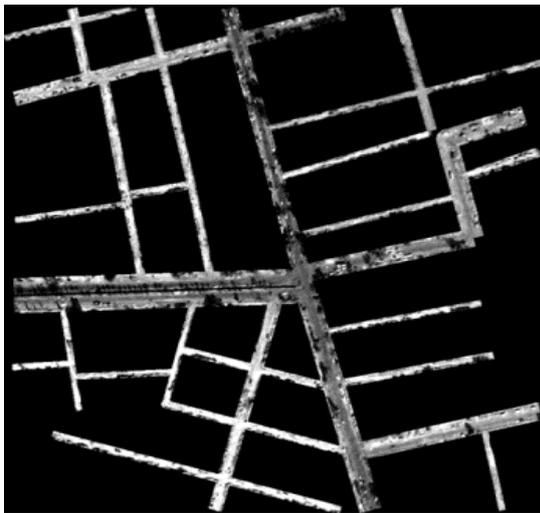
^۳ Gaussian membership function

^۱ Fuzzy rule base

الگوریتم که دو مدل نقشه‌ی تخریب راه‌ها می‌باشد خواهیم رسید. این نقشه‌ی تخریب شامل دو نقشه با دقت و کیفیت متفاوت خواهد بود که یکی تخریب را به صورت کلی نمایش می‌دهد یعنی تخریب هر راه را به صورت مستقل و بر اساس شروط آماری تعیین نموده و یکی هم به صورت جزئی تر و در مقیاس مقطعی نمایش داده است. نقشه دوم به منظور کاربردهای عملی از کارایی بهتر و دقیق تری برخوردار است. ضمناً می‌تواند ارتباط مناطق قابل عبور و مرور راه‌های مجاور را در تقاطع راه‌ها که نقاط حساسی به منظور قابلیت دسترسی می‌باشند نمایش دهد.

۴-۱- محدوده راه‌های استخراج شده

در این بخش خروجی حاصل از شناسایی نواحی راه پس از عملیات ماسک تصویر در شکل زیر آمده است.



شکل ۵ - پیکسل‌های راه حاصل از عملیات ماسک تصویر

۴-۲- تولید ویژگی و انتخاب طبقه‌بندی کننده

ابتدا با توجه به داده‌های آموزشی و تستی که توسط اپراتور استخراج شدند با کمک طبقه‌بندی کننده کلاسیک MLL و با چهار باند تصویر دقت کلی برابر با ۸۱٪ بدست آمد. پس از آن از طبقه‌بندی کننده‌ی ماشین بردار پشتیبان استفاده شد که با دقت کلی ۸۵٪ و ضریب کاپای ۰.۸۱ همراه شد. شایان ذکر است که طبقه بندی کننده‌ی SVM در حالت کمبود داده‌ی آموزشی نسبت به فضای ویژگی بزرگ قابلیت قابل توجهی دارد [۹]. از این رو برای ورود به الگوریتم ژنتیک از طبقه بندی کننده‌ی دوم استفاده شد. همچنین به طور نمونه یکی از ویژگی‌های بکار رفته در طبقه بندی تصویر در شکل زیر آورده شده است.

اگر آوار کم و راه زیاد و سایه زیاد و درخت متوسط و ماشین کم باشد آنگاه قطعه ی راه سالم است.

اگر آوار زیاد و راه کم و سایه کم و درخت کم و ماشین زیاد باشد آنگاه قطعه ی راه مسدود است.

اگر آوار متوسط و راه کم و سایه کم و درخت کم و ماشین متوسط باشد آنگاه قطعه ی راه دارای تخریب متوسط است.

۳-۶- تعیین ضوابط بمنظور تصمیم‌گیری در مورد انسداد یک راه با کمک خروجی‌های فازی

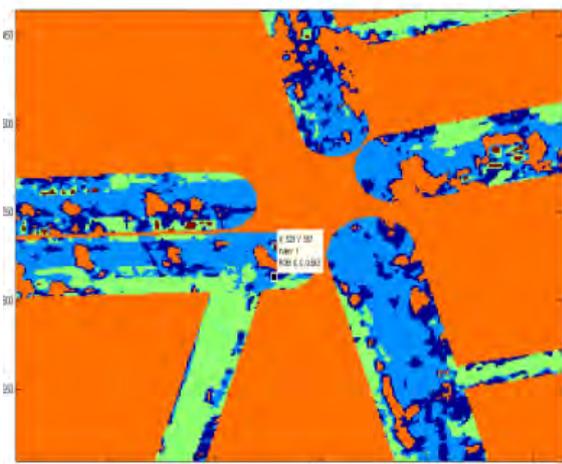
پس از تعیین تخریب هر زیر ناحیه راه نوبت به تعیین یکسری شروط آماری میرسد تا به یک جمع بندی در مورد میزان تخریب کلی در یک راه مشخص برسیم. این شروط به شرح زیر هستند:

- ۱- اگر دو قطعه پشت سر هم مسدود باشند و یا تعداد زیر قطعات راه (قطعات ده متری) با تخریب سنگین در یک قطعه راه سه یا بیش از سه مورد باشند آن راه مسدود است.
- ۲- اگر تعداد قطعات با تخریب سنگین کمتر از دو و نسبت قطعات با تخریب متوسط به کل قطعات بیش از ۵۰٪ باشد آن قطعه تخریب متوسط دارد.
- ۳- اگر تعداد قطعات با تخریب سنگین کمتر از دو و نسبت قطعات با تخریب کم به کل قطعات بیش از ۵۰٪ باشد آن قطعه تخریب کم دارد.
- ۴- اگر تعداد قطعات با تخریب سنگین کمتر از دو و نسبت قطعات بدون تخریب به کل قطعات بیش از ۵۰٪ باشد آن قطعه سالم است.

همانطور که در بالا آمد تمامی ضوابط برای تعیین چهار سطح از تخریب تعیین شد اما در عمل به دلیل اینکه سطح تخریب چهارتایی باعث گمراهی و سردرگمی امداد رسانان خواهد شد؛ ازین رو سطح "تخریب کم" با سطح "سالم" ادغام خواهد گردید زیرا هر دوی این راه‌ها قابلیت عبور و مرور را خواهند داشت و سرعت تصمیم گیری برای انتخاب مسیر مناسب را بالا خواهد برد.

۴- پیاده سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش خروجی قسمت های اصلی روش پیشنهادی آورده شده است و در نهایت به خروجی نهایی

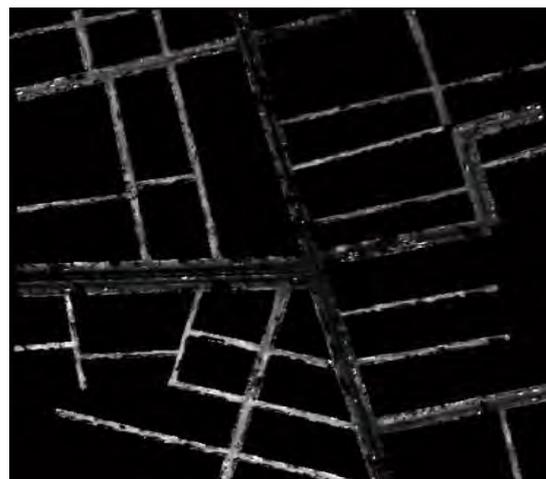


شکل ۷- بخشی از تصویر طبقه بندی شده با ۵ کلاس؛ راه برنگ آبی کم رنگ؛ گیاهان آبی پررنگ؛ سایه نارنجی؛ آوار سبز و خودرو برنگ قرمز مشخصند.

۴-۵- سیستم فازی طراحی شده

در این تحقیق تفکیک بازه‌ی هر متغییر ورودی به سیستم که عددی بین صفر و یک می‌باشد (سهم هر کلاس در قطعه) توسط توابع عضویت های گوسی و دوزنقه ای به سه مجموعه ی کم؛ متوسط و زیاد تقسیم شدند. نهایتاً در مجموع پنج ورودی برای سیستم استنتاج فازی تعیین شد که هر کدام سهم پیکسل های آن کلاس خاص در آن قطعه بود. پایگاه قوانین در این تحقیق با ۳۷ قانون تشکیل شد و از استلزام ممدانی^۱ که با اپراتور ضرب یا مینیمم به صورت سختگیرانه ای جلوی استدلال های غلط را میگیرد در ارزشگذاری هر قانون استفاده شد. همچنین از اپراتور مینیمم^۲ برای استلزام و t-norm بین متغییر ها؛ از اپراتور ماکسیمم^۳ برای جمع بندی قوانین^۴ و s-norm و از عملگر سنتروید^۵ برای بخش غیرفازی سازی^۶ استفاده شد [۱۳]. همچنین در صفحه‌ی بعدی و در شکل مربوطه یک نمونه از سیستم تصمیم‌گیری بر مبنای منطق فازی با ورودی‌های پنجگانه و تک خروجی "میزان تخریب" که بر روی یک قطعه ده متری اعمال شد آمده است.

در نهایت از بین ۳۴ راه موجود ۲۸ راه به درستی توسط الگوریتم برچسب گذاری شدند. ماتریس ابهام برای ارزیابی



شکل ۶- شاخص سایه. در این تصویر سایه ها به صورت موثری مشهود می باشند.

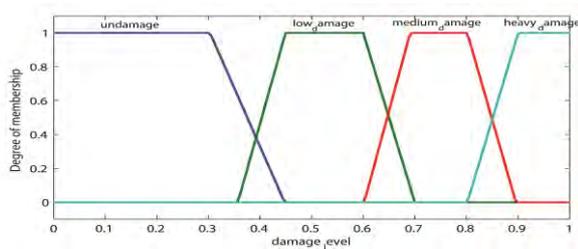
۴-۳- نتایج الگوریتم ژنتیک

دقت بالاتر بدست آمده نسبت به طبقه‌بندی کننده بیشترین شباهت علاوه بر قابلیت آموزش پذیری طبقه بندی کننده ی SVM با داده های آموزشی کم که در کلاس ماشین ها با آن مواجه بودیم؛ ناشی از همگونی رویکرد بصری عامل اپراتور در جمع آوری داده های تست و آموزش به صورت همزمان می‌باشد [۱۸]. طبقه بندی کننده ی ماشین بردار پشتیبان با اضافه نمودن تصاویر بافتی بدست آمده از ماتریس GLCM و همچنین بیست ویژگی بدست آمده از فیلتر گابور در چهار جهت و پنج مقیاس متفاوت به باند های اصلی تصویر (قرمز؛ سبز؛ آبی و مادون قرمز) در نهایت با ۳۳ ویژگی وارد الگوریتم ژنتیک شد. سر انجام با جمعیت اولیه ۳۰ کروموزوم با هریک ۳۳ ژن و بیشینه تکرار ۱۲ و نرخ نخبه گرایی ۲ و تنظیم پارامتر cross over برابر با ۰٫۸ به ۱۴ ویژگی نهایی رسیدیم که دقت کلی ۹۳ درصد وضرب کاپای ۰٫۹۱ را ارائه نمود که دقت قابل توجهی نسبت به روش بیشترین شباهت دارا می‌باشد.

۴-۴- خروجی حاصل از طبقه بندی با SVM و ویژگی های حاصل از GA

در ادامه قسمتی از راه های طبقه بندی شده در شکل زیر با پنج کلاس راه، آوار، سایه، خودرو و درختان آورده شده است.

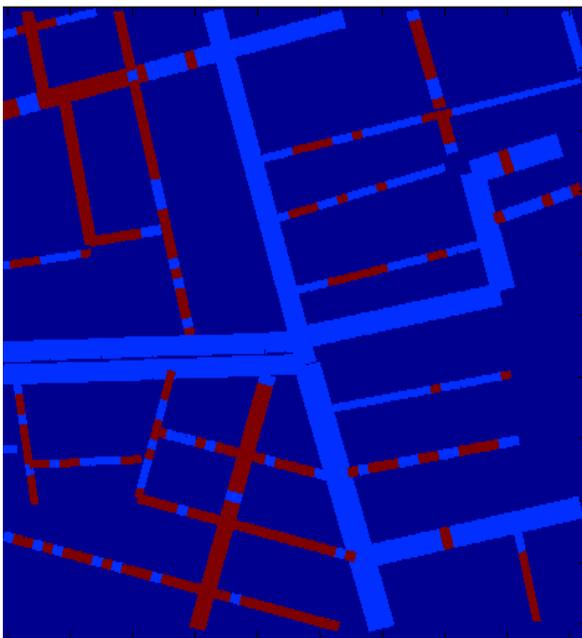
۱ Mamdani implication
 ۲ Minimum operator
 ۳ Maximum operator
 ۴ aggregation
 ۵ centroid
 ۶ defuzzification



شکل ۹- یک نمونه از ورودی ها و خروجی مربوط در سیستم استنتاج فازی طراحی شده مرتبط با یک قطعه از یک راه



شکل ۱۰- نقشه تخریب راه(سه سطح) راههای قرمز مسدود؛ آبی راه های با تخریب متوسط و سبز راه های بدون تخریبند



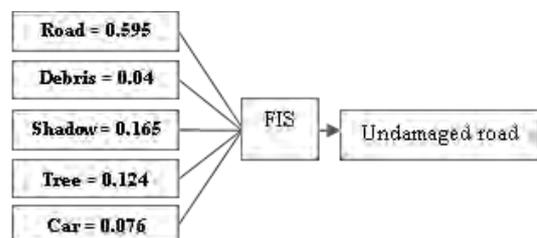
شکل ۱۱- نقشه ی قطعات مسدود راه ها(دو سطح). نواحی قرمز رنگ مناطق "مسدود" و نواحی آبی کم رنگ مناطق قابل عبورند.

دقیق تر روش پیش رو در جدول ۱ آورده شده است. بنابر این بیش از ۸۰ درصد راه ها به درستی سطح تخریبشان ارزیابی شد. ضمناً همانگونه که پیشتر اشاره شد داده‌های مرجع برای مقایسه خروجی‌های الگوریتم با واقعیت؛ با مقایسه‌ی تصاویر پیش و پس از زلزله ایجاد شد.

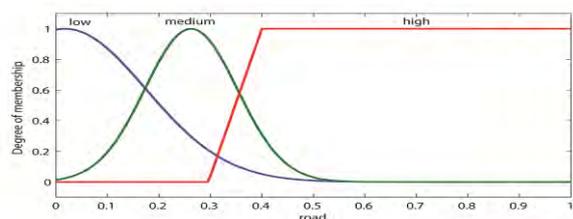
پس از مرحله‌ی اعمال شروط آماری نقشه تخریب راه-ها در سه سطح در شکل زیر ارائه شده است. در نهایت نیاز به یک خروجی دقیق تر از آنچه که در شکل فوق آورده شد محسوس بود زیرا این نقشه تخریب کلی؛ ملاحظات توپولوژیکی شبکه راه ها را در نظر نمیگیرد و تخریب هر راه را جداگانه مورد بررسی قرار میدهد در صورتی که ممکن است در اثر همجواری و تقاطع یک راه سالم با بخش سالم از یک راهی که برچسب تخریب "مسدود" گرفته است؛ بخشی از این اتصال قابل دسترسی و سرویس دهی باشد. ازین رو نیاز به ارائه‌ی نقشه‌ی تخریب دقیق تری بود که با نیازهای امدادی سازگاری داشته باشد. بنابراین الگوریتم با ادغام مقاطع با تخریب "متوسط" (که اساساً قابلیت عبور و مرور دارند اما با سرعت پایین) و مقاطع "سالم"؛ به نقشه جزئی "قطعات مسدود" یا مناطق عبور و مرور) رسید.

جدول ۱- ماتریس ابهام برای ارزیابی دقت در ۳۴ راه موجود

ماتریس ابهام	سالم	تخریب متوسط	تخریب سنگین	دقت کاربر
سالم	5	0	0	100%
تخریب متوسط	0	3	1	75%
تخریب سنگین	3	2	20	80%
دقت تولید کننده	63%	60%	95%	دقت کلی : %82



شکل ۸- توابع عضویت ورودی و خروجی سیستم



۵- نتیجه گیری

در این پژوهش راه‌های پس از زلزله که در اثر آوار دچار انسداد شده بودند شناسایی و برچسب گذاری شدند. الگوریتم با تکنیک‌هایی چون استفاده از بهینه‌یاب ژنتیک و طبقه‌بندی کننده SVM توانست علاوه بر افزایش سطح اتوماسیون؛ دقت تشخیص تخریب را (کلاس آوار) در مقایسه با تحقیقات پیشین و مشابه به طور چشمگیری افزایش دهد. توسعه و بهبود آنالیز پروفیل بر مقاطع عرضی راه‌ها به خوبی انجام پذیرفت که حجم پردازش‌ها را کاهش داد. همچنین ارائه خروجی‌های متنوع بمنظور فعالیت‌های های امداد رسانی از دیگر نوآوری‌های روش پیشنهادی بودند. همچنین با کمک طراحی یک سیستم فازی و ورود دانش فرد خبره به مدل؛ مشکل حضور ابهام آمیز برخی عوارض سطح راه در تحقیقات مشابه در ارزیابی تخریب مدیریت شد. نقشه‌ی تخریب شکل ۱۰ با ارائه سه سطح تخریب یک دید کلی و اورژانسی به راه‌های آسیب دیده

ارائه میکند و نقشه‌ی تخریب ارائه شده در شکل ۱۱ نقشه‌ای کاربردی‌تر و با دقت بیشتری است که حداکثر دسترسی به مناطق آسیب دیده را فراهم می‌آورد. دقت این روش در مقایسه با دو تحقیق مشابه [۱۰،۱۱] اصولی تر بیان شد زیرا از ماتریس ابهام استفاده شد. از آنجا که ماتریس ابهام تنها در این تحقیق بکار گرفته شد؛ بررسی و مقایسه بر اساس خطاهای نوع اول و دوم و سایر پارامترهای دقت و صحت مقذور نخواهد بود. همچنین در دو تحقیق نامبرده راه‌ها تنها دو برچسب سالم و مسدود گرفتند در صورتی که در این تحقیق یک سطح تخریب اضافه شد. از این جهت هم در صورت مقایسه یک به یک اختلاف بی معنی ای بوجود خواهد آمد. به طور کلی هرچه سطوح تخریب ارائه شده بالاتر می‌رود؛ دقت برچسب‌گذاری هر راه کاهش پیدا میکند؛ لذا تفکیک راه‌ها تنها به سالم و مسدود ماتریس‌های ابهام بهتری ارائه میدهد.

مراجع

- [1] Samadzadegan, F., & Zarrinpanjeh, N. (2008). Earthquake destruction assessment of urban roads network using satellite imagery and fuzzy inference systems. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 37(B8), 409-414.
- [2] Xiaoli, L., Xue, L., Jinggang, L., & Qiuliang, W. (2013, August). Object-Oriented Remote Sensing Image Classification and Road Damage Adaptive Extraction. In *2013 the International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE 2013)*. Atlantis Press.
- [3] Gong, L., An, L., Liu, M., & Zhang, J. (2012, July). Road damage detection from high-resolution RS image. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International* (pp. 990-993). IEEE.
- [4] Li, J., Qin, Q., Ma, H., & Yuan, W. (2010, July). Study on road damage assessment based on RS and GIS. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International* (pp. 4534-4537). IEEE.
- [5] Li, P., Xu, H., & Song, B. (2011). A Novel Method for Urban Road Damage Detection Using Very High Resolution Satellite Imagery and Road Map. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 77(10), 1057-1066.
- [6] Takagi, H. (1997). *Introduction to fuzzy systems, neural networks, and genetic algorithms* (pp. 3-33). Springer US.
- [7] Ono, A., Kajiwara, K., & Honda, Y. (2010). Development of new vegetation indexes, shadow index (SI) and water stress trend (WST). *Intern. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38, 710-714.
- [8] Platt, J. C. (1999). Probabilistic outputs for support vector machines and comparisons to regularized likelihood methods. In *Advances in large margin classifiers*.
- [9] Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297.
- [10] Haralick, R.M., 1979. Statistical and Structural Approaches to Texture. *Proceedings of IEEE* 67 (5), 786-804.
- [11] Haghghattalab, A., Mohammadzadeh, A., Zoj, M. V., & Taleai, M. (2010, October). Post-earthquake road damage assessment using region-based algorithms from high-resolution satellite images. In *Remote Sensing* (pp. 78301E-78301E). International Society for Optics and Photonics.

- [12] Shi, Z., & Govindaraju, V. (1996). Character image enhancement by selective region-growing. *Pattern recognition letters*, 17(5), 523-527.
- [13] Cox, E., O'Hagan, M., Taber, R., & O'Hagen, M. (1998). *The Fuzzy Systems Handbook with Cdrom*. Academic Press, Inc.
- [14] Wang, Y., Wang, Y., Da, Y., Liu, X., Li, J., & Huang, J. (2011, June). An object-oriented method for road damage detection from high resolution remote sensing images. In *Geoinformatics, 2011 19th International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.
- [15] Haghhighattalab, A. (2010). Assessment of roads after an earthquake occurrence by use of remote sensing data and GIS. Master of Science Thesis, surveying engineering department, K.N.Toosi University of technology.
- [16] Maghsoudi, Y., Collins, M., & Leckie, D. G. (2011, July). Nonparametric feature selection and support vector machine for polarimetric SAR data classification. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2011 IEEE International* (pp. 2857-2860). IEEE.
- [17] Teshnelab, M., Safarpour, N., Afyooni, D. (2010). *Fuzzy system and fuzzy control*, K.N.Toosi University of technology publication.
- [18] Vapnik, V. (2000). *The nature of statistical learning theory*. Springer.
- [19] 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.
- [20] 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, 455-472.
- [21] Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy logic= computing with words. *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 4(2), 103-111.
- [22] Tong, X., Lin, X., Feng, T., Xie, H., Liu, S., Hong, Z., & Chen, P. (2013). Use of shadows for detection of earthquake-induced collapsed buildings in high-resolution satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 79, 53-67.
- [23] Zhang, J. F., Xie, L. L., & Tao, X. X. (2002). Change detection of remote sensing image for earthquake-damaged buildings and its application in seismic disaster assessment. *Journal of Natural Disasters*, 11(2), 59-64.
- [24] Liu, W., Yamazaki, F., Gokon, H., & Koshimura, S. (2012, July). Extraction of damaged buildings due to the 2011 Tohoku, Japan Earthquake Tsunami. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International* (pp. 4038-4041). IEEE.