

شناسایی سریع مناطق آسیب‌دیده پس از وقوع زلزله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 (مطالعه موردی: زلزله سرپل ذهاب)

میلاد جانعلی‌پور*

استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

نادیا عباس‌زاده طهرانی (tehrani@ari.ac.ir)

استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

حکمت‌الله محمدخانلو (khanlu@gmail.com.m)

کارشناس ارشد ژئودزی، دانشگاه آزاد شاهرود، سمنان، شاهرود

الهه خصالی (elahe.khesali@gmail.com)

دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

حمید عنایتی (en.hamid22@gmail.com)

کارشناس ارشد فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۳/۱۰ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۶/۲۵)

چکیده

شناسایی سریع مناطق آسیب‌دیده پس از وقوع زلزله به منظور تولید نقشه آسیب، اهمیت زیادی در زمینه امداد و نجات دارد. در چند سال گذشته استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تولید نقشه تخریب به دلیل سرعت زیاد، پوشش وسیع از منطقه و هزینه اندک بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این پژوهش، یک روش شناسایی سریع مناطق آسیب‌دیده مبتنی بر روش‌های شناسایی تغییرات ارائه خواهد شد که درباره زلزله سال ۱۳۹۶ سرپل ذهاب اجرا می‌شود. به منظور اعتبارسنجی این روش، ابتدا نتایج روش شناسایی تغییرات ارزیابی شد که خروجی‌ها نشان‌دهنده صحت زیاد روش در شناسایی مناطق تغییر یافته‌اند. از طرف دیگر، نتایج روش شناسایی آسیب که در زلزله سرپل ذهاب اجرا شده با نقشه‌های آسیب تولید شده توسط سازمان فضایی اروپا اعتبارسنجی شد که نتایج حاکی از صحت ۸۴ درصدی در شناسایی مناطق آسیب‌دیده است. با به کارگیری روش پیشنهادی، نقشه آسیب برای شهر سرپل ذهاب بسیار سریع و در مدت کمتر از سی دقیقه تولید شد.

واژه‌های کلیدی: زلزله، سرپل ذهاب، سنجش از دور، شناسایی سریع آسیب، Sentinel-2.

مقدمه

سنجش از دور علم شناسایی، اندازه‌گیری و بررسی عوارض و پدیده‌های سطح زمین با استفاده از تصاویر حاصل از تعامل امواج الکترومغناطیسی با اشیای مذکور، بدون تماس مستقیم با عوارض است [۱۶]. 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 پررنگ‌تر می‌شود [۱۶]. یکی از کاربردهای سنجش از دور، شناسایی مناطق آسیب‌دیده پس از وقوع بحران است. امروزه استفاده از تصاویر اپتیک^۱، رادار^۲ و لیدار^۳ درباره شناسایی آسیب پس از وقوع زلزله، سیل، رانش و دیگر حوادث غیرمترقبه بیش از پیش مطرح شده است [۲].

میلاس و همکاران با استفاده از تصاویر لندست مسیر آسیب‌دیده در اثر گردباد را شناسایی کردند. هدف این مقاله، مقایسه سه روش شناسایی تغییرات شامل روش نظارت‌شده بیشترین شباهت، روش نظارت‌نشده ISODATA و روش طبقه‌بندی شیء‌مبنا در شناسایی تغییرات ناشی از گردباد بود. نتایج نشان می‌دهند که روش نظارت‌شده استفاده‌شده در این تحقیق صحت بیشتری در شناسایی مناطق آسیب‌دیده نسبت به روش نظارت‌نشده داشته است [۲۰]. استرادا و همکاران در تحقیقی با استفاده از تصاویر لندست اخذشده قبل و بعد از زلزله آل‌سالوادور مناطق آسیب‌دیده و رانش‌یافته را مشخص کردند. آنها با استفاده از تفسیر بصری و ارائه چند شاخص جدید به شناسایی مناطق آسیب‌دیده پرداختند. یکی از ضعف‌های این روش، نبود ارزیابی کمی دقت روش پیشنهادی است [۳]. یوسف و همکاران، یک روش شناسایی تخریب با استفاده از تصاویر لندست ۷ ارائه کردند. باندهای پانکروماتیک لندست ۷ قبل و بعد از زلزله برای این منظور استفاده شده‌اند. روش استفاده‌شده در این تحقیق مبتنی بر تغییرات درجات خاکستری و بازتابندگی داده‌های ماهواره‌ای بود. در این تحقیق دو روش مبتنی بر داده‌های آموزشی و بدون داده‌های آموزشی برای مناطق آسیب‌دیده استفاده شد [۲۹]. کوشیاما و یامازاکی در سال ۲۰۰۵ میلادی به شناسایی مناطق آسیب‌دیده پس از زلزله بم با استفاده از تصاویر Aster قبل و بعد از حادثه پرداختند. در روش پیشنهادی ابتدا تصاویر قبل و بعد از زلزله هم‌مرجع شدند و تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری به آنها اعمال شد. سپس پیکسل به پیکسل مقدار سطح اطمینان محاسبه شد که براساس آن نقشه تخریب مناطق مختلف تهیه شد [۱۲]. در تحقیقی، مناطق آسیب‌دیده ناشی از

1. Optic
2. Radar
3. LiDAR

تأثیرات مخرب جنگ توسط تصاویر سنجندهٔ لندست TM بررسی شد تا شدت تغییرات و تخریب طبقات کاربری مختلف استخراج شود. در این تحقیق شناسایی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در سه‌گام شامل ۱. پیش‌پردازش؛ ۲. انتخاب روش شناسایی تغییرات؛ و ۳. ارزیابی دقت انجام گرفت [۲۶]. جانعلی‌پور و محمدزاده با استفاده از تصاویر توان تفکیک مکانی قوی و روش‌های شیء‌مبنا و عصبی فازی ساختمان‌های آسیب‌دیده پس از وقوع زلزلهٔ بم را شناسایی کردند [۷، ۱۰]. نتایج حاصل از تحقیقات اخیر در زمینهٔ شناسایی تخریب ساختمان‌ها از تصاویر سنجنش از دور حاکی از دشواری و عدم قطعیت‌های زیاد روش‌های موجود است [۸].

به‌دلیل اهمیت اقدامات سریع امدادسانی و کنترل وضعیت پس از بروز بحران، تولید سریع نقشهٔ تخریب پس از حادثه ممکن است سبب کاهش خسارت‌های جانی و مالی شود. از این‌رو در سال‌های اخیر، مطالعات به‌سمت ارائهٔ روش‌های شناسایی آسیب سریع هدایت‌شده است. پژوهشگران با استفاده از تصاویر Geoeye-1 زلزلهٔ هائیتی و شناسایی تغییرات سایه قبل و بعد از زلزله، نقشهٔ سریع آسیب پس از وقوع زلزله را تهیه کردند [۲۲] که یکی از تحقیقات عملیاتی در زمینهٔ تولید سریع نقشهٔ تخریب ساختمان محسوب می‌شود. در پژوهشی، با استفاده از تصاویر اپتیک قبل، و دادهٔ رادار بعد از زلزلهٔ نپال، نقشهٔ تخریب سریع آسیب تولید شد [۴]. با توجه به محدودیت استفاده از تصاویر اپتیک در صورت وجود ابر، روش پیشنهادی در برخی بحران‌ها می‌تواند مفید واقع شود. یک مقالهٔ مروری در زمینهٔ بررسی روش‌های شناسایی سریع مناطق آسیب‌دیده با استفاده از تصاویر رادار ارائه شده است [۱۵] که بررسی آن به‌دلیل اهمیت استفاده از تصاویر رادار در مدیریت بحران توصیه می‌شود.

همان‌طور که در پیشینهٔ تحقیق مشاهده می‌شود، بیشتر روش‌های شناسایی آسیب، به مسئلهٔ شناسایی آسیب سریع توجه کافی نداشته‌اند [۸، ۹]. در واقع بیشتر روش‌های موجود، به نمونه‌های تعلیمی وابسته‌اند و به‌صورت آزمایشگاهی توسعه داده شده‌اند. افزون‌بر این، چند روش محدود شناسایی سریع آسیب ایجاد شده‌اند که اغلب در مناطق خارج کشور ایران ارزیابی شده‌اند، درحالی که ابداع یک روش بومی برای ایران ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق روش و چارچوبی مناسب برای شناسایی سریع مناطق آسیب‌دیده پس از زلزلهٔ سرپل ذهاب ارائه خواهد شد. روش پیشنهادی وابسته به داده‌های تعلیمی نیست و از نظر روش شناسایی مناطق آسیب‌دیده از دیدگاه استفاده از روش TOPSIS منحصربه‌فرد و جدید است.

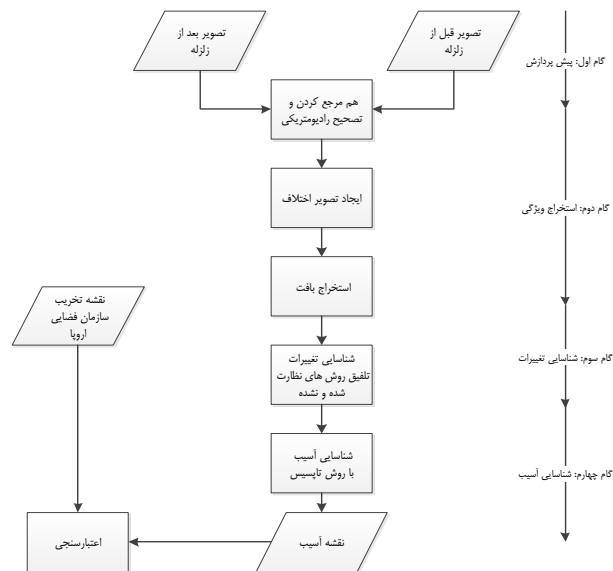
روش تحقیق و منطقهٔ مطالعه

در این پژوهش، یک روش شناسایی آسیب مبتنی بر شناسایی تغییرات ارائه خواهد شد. برای این

کار، تصاویر دو منطقه دریاچه ارومیه و یخ‌های قطبی آلاسکا که متحمل تغییرات شدیدی شده‌اند، برای اعتبارسنجی نتایج شناسایی تغییرات روش پیشنهادی استفاده می‌شوند. تصاویر لندست از مناطق تحت مطالعه، مطابق منبع [۱۱] استفاده شدند. همچنین، در اثر زلزله ۷/۳ ریشتری شامگاه یکشنبه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ از گله استان کرمانشاه، ۶۲۰ تن کشته، ۹۳۸۸ نفر زخمی و ۷۰۰۰۰ نفر بی‌خانمان شدند. در این واقعه، شهر سرپل ذهاب متحمل بیشترین خسارات شد. در این مطالعه از تصاویر Sentinel-2 برای شناسایی آسیب سریع مناطق آسیب‌دیده پس از زلزله سرپل ذهاب استفاده خواهد شد. از باندهای طیفی با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر Sentinel-2 استفاده خواهد شد.

روش پیشنهادی

برای تولید سامانه تعیین تخریب سریع ناشی از حوادث طبیعی و غیرطبیعی، مدل مفهومی شکل ۱ به‌عنوان نقشه راه استفاده خواهد شد. براساس این شکل، نخست داده‌های دو زمان مورد پیش‌پردازش قرار می‌گیرند. سپس تشخیص تغییرات انجام می‌گیرد و مناطق تغییر یافته استخراج می‌شوند. در مرحله بعد، شدت تخریب مناطق با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری تعیین خواهد شد. صحت نتایج نقشه تخریب بررسی خواهد شد. در ادامه به روش‌های انتخابی هر گام به‌منظور شناسایی تخریب خواهیم پرداخت.



شکل ۱. روش پیشنهادی برای تعیین شدت تخریب سریع

به‌منظور شناسایی تغییرات یا آسیب سریع مناطق، هم‌مرجع‌سازی تصاویر دو زمان اهمیت دارد. هم‌مرجع‌سازی به‌معنای یکسان‌سازی مبدأ مختصات دو تصویر است، به‌گونه‌ای که مختصات جغرافیایی دو عارضه متناظر در تصویر زمان اول (I_1) و تصویر زمان دوم (I_2) یکسان باشند. تاکنون روش‌های متنوع و زیادی به‌منظور هم‌مرجع‌سازی تصاویر ارائه‌شده‌اند [۱۳،۵]. با توجه به تحقیقات گذشته، استفاده از روش نیمه‌خودکار مبتنی بر تبدیل چندجمله‌ای‌ها یکی از روش‌های مناسب و کارآمد به‌منظور هم‌مرجع‌سازی تصاویر است که می‌تواند به‌خوبی پاسخگوی نیاز کاربران باشد [۱۶].

پس از هم‌مرجع‌کردن تصاویر دو زمان، در صورت نیاز باید درجات خاکستری تصاویر از نظر رادیومتریکی و اتمسفری تصحیح شوند، زیرا هدف شناسایی شدت تغییرات و تخریب از روی درجات خاکستری تصاویر است و تغییرات ناشی از عوامل مخرب نظیر اتمسفر سبب ایجاد خطاهای بزرگ در نتایج خواهد شد [۱۸]. در این مطالعه، به‌دلیل نیاز به افزایش سرعت و دسترسی نداشتن به برخی اطلاعات اتمسفر در زمان تصویربرداری از روش تصحیح نسبی رادیومتریکی استفاده شد. سه روش تصحیح رادیومتریکی استفاده‌شده براساس تحقیقات قبلی [۲۸] اجرا شدند. توضیحات تکمیلی در مورد روش تصحیح رادیومتریکی رگرسیون خطی، PIF^1 و $RCSM^2$ ارائه شده است [۹].

استخراج ویژگی

استفاده از ویژگی‌های بافتی در مسئله شناسایی تخریب به‌دلیل تغییرات مکانی رخ داده پس از زلزله بسیار مفید خواهد بود. تاکنون از ویژگی‌های بافتی مختلف نظیر Gabor Filters [۱۷]، Laws Mask [۱۴]، Haralick Features [۲۱] و Histogram Oriented Gradients [۲۳] در شناسایی آسیب استفاده شده است [۱۹]. براساس تحقیقات پیشین، ویژگی‌های بافتی Haralick در شناسایی آسیب نتایج دقیق‌تری نسبت به روش‌های دیگر دارد [۸]. از این‌رو در این تحقیق از ویژگی‌های مذکور برای شناسایی مناطق آسیب‌دیده استفاده می‌شود.

انتخاب نمونه‌های تعلیمی

هدف این مقاله ارائه یک روش شناسایی آسیب سریع است. استفاده نکردن از نمونه‌های تعلیمی سبب افزایش سرعت روش پیشنهادی خواهد شد. در این تحقیق از خوشه‌بندی (نظارت‌نشده) Fuzzy C-Means به‌منظور تهیه نمونه‌های تعلیمی به‌صورت خودکار استفاده

1. Pseudo Invariant Features
2. Radiometric control sets method

می‌شود. روش Fuzzy C-Means از قوی‌ترین و محبوب‌ترین روش‌های خوشه‌بندی محسوب می‌شود. در این روش فرض می‌شود که تعداد نمونه‌ها (پیکسل‌ها) برابر $j = 1, \dots, N$ است و همچنین هدف شناسایی خوشه‌های $j = 1, \dots, c$ است. هدف این روش به دست آوردن مراکز خوشه‌ها و درجات تعلق هر نمونه به طبقات (خوشه‌ها) است. برای رسیدن به این هدف، تابع زیر حداقل‌سازی می‌شود [۱]:

$$J_{fc}(Z, U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^N \mu_{ij}^m \|Z_j - V_i\|^2 \quad (1)$$

m متغیر فازی‌ساز که مقادیری بیشتر از ۱ اختیار می‌کند

μ_{ij} i به کلاس j درجه تعلق پیکسل

V_i ام‌مرکز خوشه

Z_j مقدار پیکسل

با فرض اینکه $D_{ik} = \|Z_k - V_i\|$ باشد، درجات عضویت و مراکز خوشه با حداقل‌سازی رابطه بالا از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\mu_{ik} = \left(\sum_j^c \left(\frac{D_{ik}}{D_{jk}} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right)^{-1} \quad 1 \leq i \leq c; 1 \leq k \leq N \quad (2)$$

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^N \mu_{ik}^m \times Z_k}{\sum_{k=1}^N \mu_{ik}^m} \quad 1 \leq i \leq c \quad (3)$$

روش خوشه‌بندی Fuzzy C-Means به منظور استخراج نمونه‌های تعلیمی استفاده می‌شود. بدین منظور ابتدا اختلاف ویژگی‌های طیفی و بافتی استخراج‌شده از داده قبل و بعد از حادثه محاسبه می‌شود. سپس روش خوشه‌بندی Fuzzy C-Means با تعداد دو خوشه به اجرا در می‌آید. خوشه دارای مقادیر تغییرات کمتر، نبود تغییر و خوشه دیگر، تغییر در نظر گرفته می‌شود. پس از آن، نمونه‌های تعلیمی با اعمال حد آستانه روی درجات عضویت هر پیکسل تعیین می‌شوند. بدین منظور پیکسل‌هایی که مطابق رابطه زیر دارای مقدار بیشتر از حد آستانه باشند، به عنوان نمونه‌های تغییر نکرده و تغییر کرده انتخاب خواهند شد [۲۵].

$$\mu_{ik} > T \quad (4)$$

شناسایی تغییرات

در این بخش شناسایی تغییرات بر اساس سه روش متداول و پرکاربرد طبقه‌بندی نظارت‌شده نزدیک‌ترین همسایه، Spectral Angle Mapper (SAM) و بیشترین احتمال انجام خواهد گرفت. نزدیک‌ترین همسایه یکی از روش‌های طبقه‌بندی پرکاربرد و نظارت‌شده در سنجش از دور است. در این روش ابتدا یک رشته نمونه تعلیمی از منطقه تحقیق و طبقات موجود برداشت می‌شوند. سپس از فاصله اقلیدسی برای اندازه‌گیری فاصله میان هر پیکسل با همه طبقات استفاده می‌شود. هر پیکسل به طبقه‌ای اختصاص داده می‌شود که حداقل فاصله را از آن کلاس نسبت به طبقات دیگر داشته باشد [۱۶].

در روش SAM شباهت طیفی یک پیکسل با طیف هر یک از طبقات مقایسه می‌شود. در این روش زاویه فضایی میان بردار ویژگی پیکسل مورد نظر و طیف هر طبقه در فضای ویژگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود. پیکسل مورد نظر به طبقه‌ای اختصاص داده می‌شود که زاویه میان آنها از طبقات دیگر کمتر باشد [۲۷].

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\bar{x} \cdot \bar{r}}{|\bar{x}| \cdot |\bar{r}|} \right) \quad (5)$$

«طبقه‌بندی بیشترین شباهت» از مرسوم‌ترین انواع طبقه‌بندی‌کننده‌های نظارت‌شده در تصاویر سنجش از دور است. در طبقه‌بندی بیشترین شباهت، فرض بر این است که شاخص‌های آماری برای هر کلاس در هر باند به صورت نرمال (گوسی) توزیع شده‌اند. در این روش ابتدا احتمال تعلق هر پیکسل به همه طبقات مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود. سپس یک پیکسل به طبقه‌ای که بیشترین احتمال یعنی بیشترین شباهت به آن کلاس را دارد، اختصاص می‌یابد [۱۶].

$$x \in i \quad \text{if } P(i|w) > P(j|w) \text{ for all } j \neq i \quad (6)$$

شناسایی آسیب

پس از شناسایی مناطق تغییرکرده و تغییرنکرده از تصاویر ماهواره‌ای، در این مرحله به شناسایی شدت آسیب هر ناحیه خواهیم پرداخت. بدین منظور از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS استفاده خواهیم کرد [۲۴]. فرض کنید A_1, A_2, \dots, A_m گزینه وجود داشته باشد و همچنین معیارهای مسئله مورد نظر برابر c_1, c_2, \dots, c_n باشند. نیز فرض کنید که نرخ گزینه A_i براساس معیار c_j برابر x_{ij} باشد. در روش TOPSIS فرض بر این است که

هر معیار وزن خود را دارد که از ماتریس $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ به دست می آید. ماتریس وزن باید شرط زیر را داشته باشد:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (7)$$

براساس گزینه‌ها و معیارهای موجود، ماتریسی موسوم به ماتریس تصمیم به شکل زیر تهیه خواهد شد.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

به دلیل اینکه ماتریس تصمیم از معیارهای مختلفی تشکیل شده است و هر یک از این معیارها، محدوده عددی متفاوتی دارند و این محدوده متفاوت بر نتایج اثر سوء خواهد گذاشت، باید ماتریس D نرمال شود تا ماتریس $R = [r_{ij}]_{m \times n}$ حاصل شود. برای نرمال سازی ماتریس تصمیم از یکی از دو روش زیر استفاده می شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n) \quad (9)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{imax}} \quad (10)$$

پس از محاسبه ماتریس تصمیم نرمال شده، ماتریس تصمیم وزن دار یعنی $P = [p_{ij}]_{m \times n}$ با استفاده از رابطه ذیل به دست می آید:

$$p_{ij} = w_i * r_{ij} \quad (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n) \quad (11)$$

سپس یک جواب ایده آل مثبت (سود) A^+ و یک جواب ایده آل منفی (ضرر) A^- انتخاب می شود. به عنوان مثال مقادیر پارامتریکی انتخاب شده در زیر نمایش داده می شوند:

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_m^+) \quad (12)$$

$$A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_m^-) \quad (13)$$

جایی که:

$$P_j^+ = (\max_i p_{ij}, j \in J_1; \min_i p_{ij}, j \in J_2) \quad (14)$$

$$P_j^- = (\min_i p_{ij}, j \in J_1; \max_i p_{ij}, j \in J_2) \quad (15)$$

پس از تعیین ایده‌آل مثبت و منفی، فاصله اقلیدسی هر نمونه از این ایده‌آل‌ها با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند تا در مرحله بعد برای رده‌بندی نمونه‌ها به کار روند.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (d_{ij}^+)^2} \quad (16)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (d_{ij}^-)^2} \quad (17)$$

جایی که:

$$d_{ij}^+ = p_j^+ - p_{ij}, i = 1, \dots, m \quad (18)$$

$$d_{ij}^- = p_j^- - p_{ij}, i = 1, \dots, m \quad (19)$$

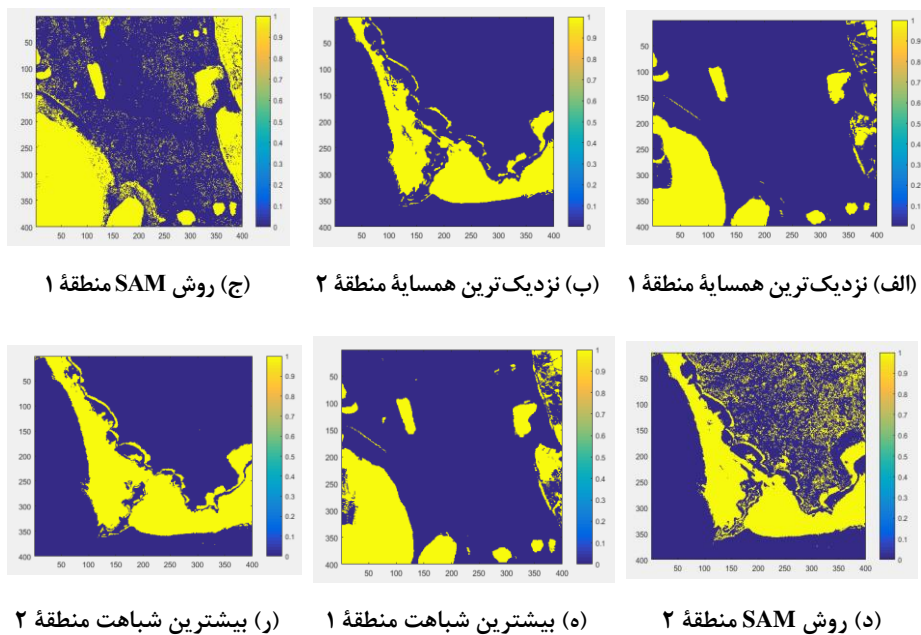
پس از محاسبه فاصله اقلیدسی هر نمونه از ایده‌آل‌های مثبت و منفی، میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به ایده‌آل مثبت با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود. در نهایت با استفاده از مقدار نزدیکی نسبی هر گزینه، گزینه‌ها رده‌بندی می‌شوند.

$$\varepsilon_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (20)$$

نتایج و بحث

همه مراحل اشاره شده در روش تحقیق، در نرم‌افزار IDL کدنویسی شد. با توجه به اینکه روش پیشنهادی مبتنی بر شناسایی تغییرات است، خطا در شناسایی نادرست طبقات تغییر و عدم تغییر سبب کاهش دقت و کارایی روش خواهد شد. از این رو در این بخش نتایج روش شناسایی تغییرات ارزیابی خواهد شد. همان‌طور که بیان شد، روش شناسایی تغییرات ارائه شده در این تحقیق مبتنی بر تلفیق خوشه‌بندی Fuzzy C Means و روش‌های نظارت‌شده طبقه‌بندی است. به‌منظور

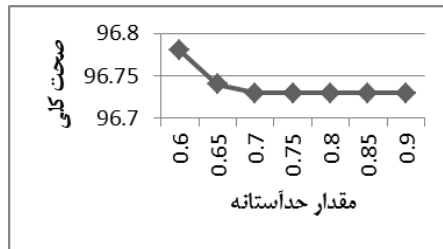
اعتبارسنجی روش‌های شناسایی تغییرات از داده‌های [۱۱] استفاده شد. نتایج بصری شناسایی تغییرات حاصل از تلفیق خوشه‌بندی Fuzzy C Means و روش‌های طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه، بیشترین احتمال و SAM در شکل ۲ نمایش داده شده است. نتایج بصری نشان می‌دهند که روش SAM دارای خطای بسیار است و دو روش دیگر نتایج مناسب و ایده‌آل دارند.



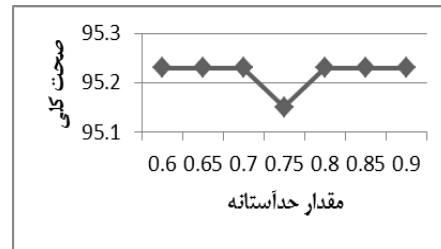
شکل ۲. نتایج روش‌های شناسایی تغییرات (بیشترین احتمال، نزدیک‌ترین همسایه و SAM) در دو منطقه ارزیابی (زرد تغییرات و آبی نبود تغییرات)

روش‌های شناسایی تغییرات با استفاده از یک مقدار حد آستانه، نمونه‌های تعلیمی را انتخاب می‌کند و سپس نقشه تغییرات را در اختیار می‌گذارد. شکل ۳ صحت کلی نتایج شناسایی تغییرات با تغییر مقدار حد آستانه را نمایش می‌دهد. بر اساس این شکل به‌طور کلی بهترین نتایج با بیشترین صحت با مقدار حد آستانه ۰/۶ یا ۰/۶۵ به‌دست آمده‌اند. همچنین، روش شناسایی تغییرات مبتنی بر SAM کمترین صحت را نسبت به دو روش دیگر دارد. روش شناسایی تغییرات مبتنی بر بیشترین احتمال نیز بیشترین صحت را داراست. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش حد آستانه به مقدار ۰/۹ صحت کلی کاهش می‌یابد. شناسایی تغییرات با

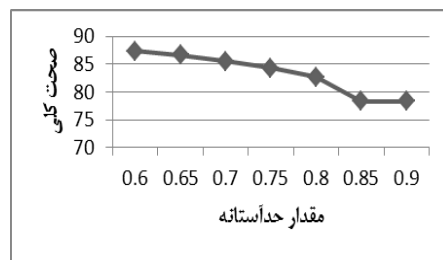
روش پیشنهادی به‌طور متوسط با صحت ۹۵ درصد، مناطق تغییر کرده و تغییر نکرده را شناسایی می‌کنند که از نظر علمی و عملی مقبول است. بنابراین می‌توان روش شناسایی آسیب ارائه‌شده در این تحقیق را براساس نتایج روش شناسایی تغییرات بنا نهاد.



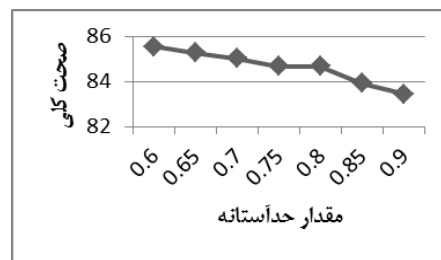
(ب) نزدیک‌ترین همسایه منطقه ۲



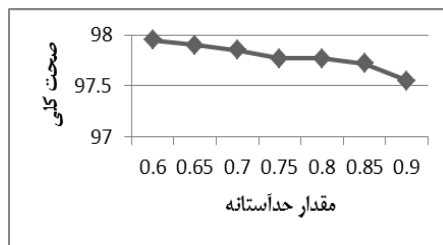
(الف) نزدیک‌ترین همسایه منطقه ۱



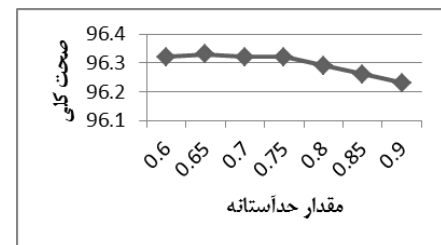
(د) SAM منطقه ۲



(ج) SAM منطقه ۱



(ر) بیشترین احتمال منطقه ۲



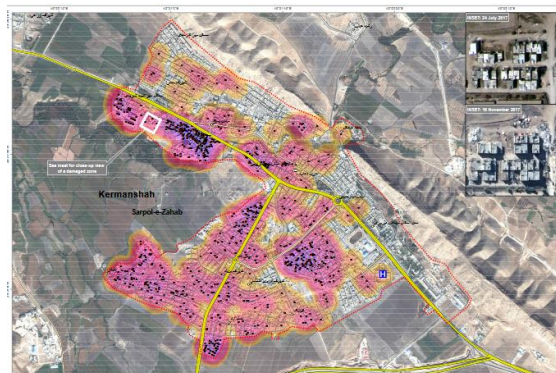
(ه) بیشترین احتمال منطقه ۱

شکل ۳. نتایج روش‌های شناسایی تغییرات (بیشترین احتمال، نزدیک‌ترین همسایه و SAM) در دو منطقه ارزیابی

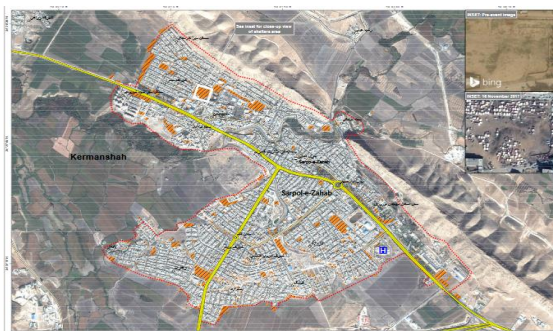
اعتبارسنجی نتایج در دو مرحله انجام می‌گیرد. در مرحله اول، در بخش پیشین صحت شناسایی تغییرات در سه منطقه بررسی شد در این بخش به اعتبارسنجی نتایج به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی

در منطقه زلزله زده سرپل ذهاب می پردازیم. به منظور ارزیابی نتایج از دو مجموعه اطلاعات استفاده می شود. مجموعه اول اطلاعات مربوط به نقشه تخریب تولید شده توسط UNITAR-UNOSAT است. این نقشه تخریب با استفاده از تصاویر Pleiades اخذ شده در ۱۶ نوامبر سال ۲۰۱۷ با توان تفکیک مکانی ۵۰ سانتی متر و تصویر 3 WorldView اخذ شده در ۲۴ جولای ۲۰۱۷ تولید شد. این نقشه با استفاده از تفسیر بصری از تصاویر یاد شده به قرار شکل ۴ تولید شده است.

منبع دوم اطلاعات به منظور اعتبارسنجی نتایج روش پیشنهادی، نقشه پناهگاه های موقت مردم است که توسط UNITAR-UNOSAT تولید شده است. به منظور تولید نقشه پناهگاه های زلزله از تصاویر Pleiades اخذ شده در ۱۶ نوامبر ۲۰۱۷ با توان تفکیک مکانی ۵۰ سانتی متر بود. نقشه پناهگاه های تولید شده در شکل ۵ نمایش داده شده است.

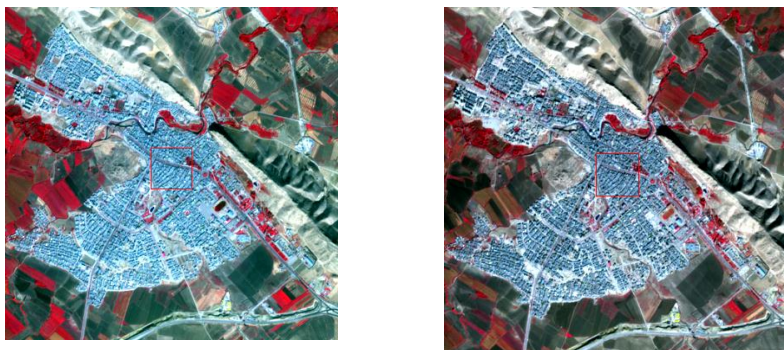


شکل ۴. نقشه تخریب زلزله سرپل ذهاب تولید شده توسط UNITAR-UNOSAT

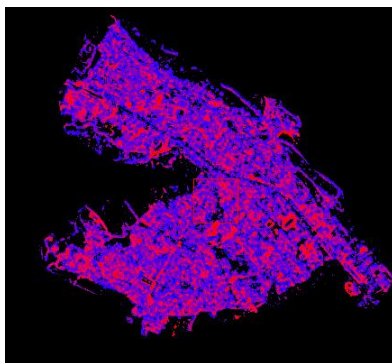


شکل ۵. نقشه پناهگاه های زلزله سرپل ذهاب تولید شده توسط UNITAR-UNOSAT

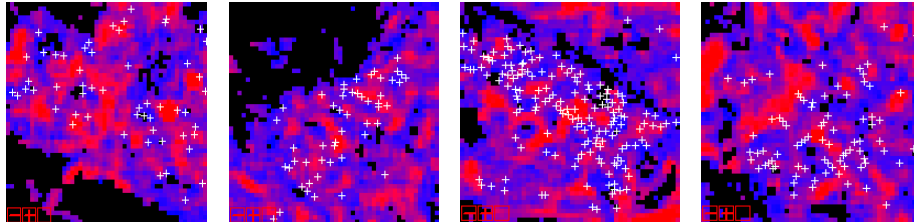
به‌منظور ایجاد نقشه‌های تخریب زلزله سرپل ذهاب از تصاویر Sentinel-2A با توان تفکیک مکانی ۱۰ متری استفاده شد. تصویر قبل از زلزله در ۱۰ نوامبر ۲۰۱۷ و تصویر بعد از زلزله در ۳۰ نوامبر ۲۰۱۷ اخذ شد. تصاویر قبل و بعد از حادثه در شکل ۶ ارائه شده‌اند. به‌منظور تولید نقشه تخریب ویژگی‌های بافتی Variance، Homogeneity، Contrast و Dissimilarity از تصاویر قبل و بعد از حادثه (باندهای ۱ تا ۴) در پنجره سه در سه از میانگین بافت همه جهات استخراج شدند. سپس این ویژگی‌ها وارد روش‌های شناسایی تغییرات و آسیب شدند تا نقشه تخریب تولید شود. شکل ۷ نقشه تخریب به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی در آن منطقه زلزله‌زده را نشان می‌دهد که مناطق قرمز نشان‌دهنده تخریب شدیدند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشتر آسیب‌ها در مناطق شمال-غربی و جنوب-غربی منطقه تحقیق رخ داده است که با نقشه تهیه‌شده توسط سازمان فضایی اروپا مطابقت دارد.



شکل ۶. تصاویر Sentinel-2A اخذشده از قبل (چپ) و بعد (راست) زلزله سرپل ذهاب



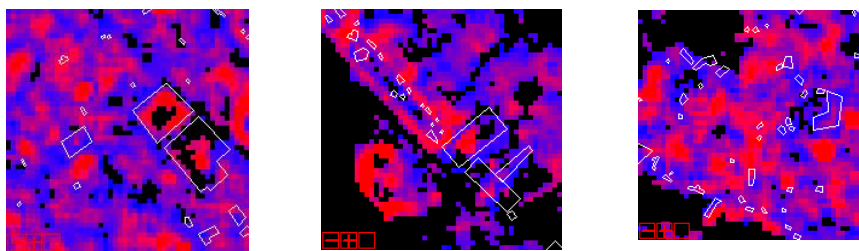
شکل ۷. نقشه تخریب تولیدشده از روش پیشنهادی در این تحقیق



شکل ۸. مقایسه نقشه تخریب تولیدشده در این گزارش با نقشه تخریب تولیدشده توسط UNOSAT (علامت + موقعیت ساختمان‌های آسیب‌دیده را نمایش می‌دهد)

به‌منظور ارزیابی کیفی نتایج، شکل ۸ مناطق آسیب‌دیده‌ای را که توسط UNOSAT شناسایی شده‌اند روی نقشه تخریب به‌دست‌آمده از این پروژه نشان می‌دهد. بر اساس این شکل روش پیشنهادی در این پروژه به‌خوبی توانسته مناطق آسیب‌دیده را شناسایی کند. موقعیت بیشتر ساختمان‌های آسیب‌دیده (علائم مثبت سفید) توسط روش ارائه‌شده در این پژوهش شناسایی شده‌اند. این دستاورد با توجه به اینکه از تصاویر Sentinel-2A به‌دست‌آمده بسیار ارزشمند است.

به‌دلیل استفاده از تصویری با فاصله چند هفته از زمان زلزله، عملیات اسکان آوارگان، بخشی از آسیب‌های پیداشده از منطقه تحت مطالعه مربوط به چادرهای اسکان است. بدین منظور در شکل ۹ پلیگون‌های نمایش‌دهنده مناطق اسکان داده‌شده ارائه شده است. بیشتر مناطق اسکان داده‌شده توسط روش پیشنهادی به‌عنوان تغییرات آسیب‌دیده شناسایی شده‌اند. این نتایج نشان‌دهنده توانایی روش پیشنهادی در شناسایی تغییرات است و برای رفع و کاهش چنین خطاهایی می‌توان از تصاویر نزدیک به زمان حادثه استفاده کرد.



شکل ۹. مقایسه نقشه تخریب تولیدشده در این گزارش با نقشه اسکان تولیدشده توسط UNOSAT

به‌منظور اعتبارسنجی کمی نتایج به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی، نقشه تخریب تولیدشده توسط UNITAR-UNOSAT به‌عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود. از این نقشه پیکسل‌هایی که آسیب‌دیده و آسیب‌ندیده‌اند، استخراج شد. بنابر نتایج UNITAR-UNOSAT، ۶۸۳ ساختمان آسیب‌دیده در منطقه از تصاویر با توان تفکیک مکانی زیاد شناسایی شده‌اند که روش پیشنهادی توانسته است محدوده آسیب ۵۶۰ ساختمان را شناسایی کند. این موضوع نشان می‌دهد که صحت روش در شناسایی مناطق آسیب‌دیده حدود ۸۱ درصد است. محدوده مناطق آسیب‌دیده و آسیب‌ندیده شکل ۴ از نقشه موجود استخراج شد و برای اعتبارسنجی نقشه آسیب به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی به‌کار گرفته شد. بر اساس این جدول، صحت کلی روش پیشنهادی در شناسایی مناطق آسیب‌دیده و آسیب‌ندیده براساس نقشه UNITAR-UNOSAT ۶۸ درصد است. همچنین صحت تولیدکننده مناطق آسیب‌دیده ۸۵/۷۷ درصد برآورد شد که به صحت شناسایی ساختمان‌های آسیب‌دیده (۸۱ درصد) نزدیک است.

جدول ۱. ماتریس ابهام روش شناسایی آسیب ارائه‌شده در این پروژه

	صحت کلی (%)	صحت کاربر (%)	صحت تولیدکننده (%)	آسیب‌دیده	آسیب‌ندیده
آسیب‌دیده	۶۸/۲۶	۴۳/۸۵	۶۸/۸۴	۱۴۴۴۲	۱۸۴۶۸
آسیب‌ندیده		۸۵/۷۷	۶۸/۰۶	۶۵۲۷	۳۹۳۵۵

بر اساس جدول ۱، روش پیشنهادی در برخی نواحی خطادار بوده است. یکی از دلایل خطای روش در این منطقه استفاده از تصاویر با توان تفکیک مکانی متوسط است. در صورت استفاده از تصاویر با توان تفکیک مکانی زیاد، می‌توان انتظار داشت که صحت نتایج افزایش یابد. افزون بر این، نقشه تخریب تولیدشده توسط UNITAR-UNOSAT در مدت زمان اندک و سریع تولید شده است که ممکن است همراه با خطا باشد. تعداد ۶۸۳ ساختمان آسیب‌دیده در این نقشه شناسایی شده‌اند، درحالی که آمارهای رسمی دولت نشان می‌دهند که از ۹۵ هزار واحد مسکونی شهری و روستایی، ۸۳ هزار واحد دچار آسیب جدی شده‌اند. همچنین حدود ۱۸ هزار واحد به‌طور کامل تخریب شده‌اند. افزون بر این تصویر پس از حادثه زمانی اخذ شد که عملیات اسکان انجام گرفته بود. برپایی چادر و کانکس در مناطق مختلف سبب ایجاد خطا در روش شناسایی تخریب ارائه‌شده در این تحقیق شد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک ابزار شناسایی آسیب و تغییر براساس تصاویر اپتیک سنجش از دور با قابلیت نصب روی نرم‌افزار ENVI ارائه شد. ابزار طراحی شده دارای چندین روش تصحیح رادیومتریکی تصاویر سنجش از دور، روش‌های استخراج ویژگی شامل ویژگی‌های بافتی، روش‌های خوشه‌بندی و طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر و سه روش شناسایی آسیب است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، روش‌های شناسایی تغییرات به‌خوبی می‌توانند مناطق تغییریافته در تصاویر سنجش از دور را شناسایی کنند. صحت کلی نتایج شناسایی تغییرات از روش پیشنهادی بیش از ۹۰ درصد است. روش پیشنهادی در منطقه زلزله‌زده غرب کشور (سرپل ذهاب) اجرا شد. نتایج به‌دست‌آمده با نقشه تخریب سریع به‌دست‌آمده از UNITAR-UNOSAT مقایسه شد. براساس نتایج، روش پیشنهادی قابلیت شناسایی مناطق آسیب‌دیده با صحت ۸۴ درصد را داراست. همچنین این روش در شناسایی درست مناطق آسیب‌دیده و آسیب‌نندیده، در حدود ۷۰ درصد صحت دارد. در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که روش پیشنهادی برای داده‌های راداری توسعه داده شود. همچنین می‌توان روش شناسایی آسیب مبتنی بر داده‌های لیزر اسکنر هوایی را نیز توسعه داد. افزون بر این توصیه می‌شود که از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده نظیر ماشین بردار پشتیبان در تحقیقات آتی برای توسعه روش استفاده شود.

تقدیر و تشکر

از سازمان فضایی اروپا برای در اختیار گذاشتن نقشه آسیب زلزله سرپل ذهاب تشکر می‌کنیم.

منابع

- [1]. Bezdek, James C; Ehrlich, Robert; & Full, William. (1984). "FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm", *Computers & Geosciences*, 10 (2-3), pp:191-203.
- [2]. Eguchi, Ronald T; Huyck, Charles K; Ghosh, Shubharoop; & Adams, Beverley J. (2008). "The Application of Remote Sensing Technologies for Disaster Management", Paper presented at the The 14th World Conference on Earthquake Engineering.
- [3]. Estrada, Miguel; Masayuki, Kohiyama; Matsuoka, Masashi; & Yamazaki, Fumio (2001), "Detection of Damage Due to the 2001 El Salvador Earthquake Using Landsat Images", Paper presented at the Proceedings of the 22nd Asian Conference on Remote Sensing.
- [4]. Gharechelou, Saeid; & Tateishi, Ryutarou (2017). "Rapid Monitoring of Earthquake Damages Using Optical and Sar Data", World Academy of Science, Engineering and Technology, *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering* 11, no. 9 (2017), pp: 873-879.

- [5]. Goshtasby, A Ardeshir (2005). *2-D and 3-D Image Registration: For Medical, Remote Sensing, and Industrial Applications*, John Wiley & Sons.
- [6]. Janalipour, Milad; Mohammadzadeh Ali; Mohammad Khanlu, H.; Khesali, E.; & Enayati, H. (2019). "Sensitivity Analysis on Parameters of Three Conventional and one new Remote Sensing Radiometric Correction Methods in order to Produce Accurate Change Ma", *Journal of Geomatics Science and Technology*, 8 (3), pp:33-43.
- [7]. Janalipour, Milad; & Mohammadzadeh, Ali (2015). "Building damage detection using object-based image analysis and ANFIS from high-resolution image (Case study: BAM earthquake, Iran)", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9 (5), pp:1937-1945.
- [8]. Janalipour, Milad; & Mohammadzadeh, Ali (2018). "Evaluation of Effectiveness of Three Fuzzy Systems and Three Texture Extraction Methods for Building Damage Detection from Post-Event Lidar Data", *International journal of digital earth* 11, no. 12, pp: 1241-1268.
- [9]. Janalipour, Milad; & Mohammadzadeh, Ali (2019). "A Novel and Automatic Framework for Producing Building Damage Map Using Post-Event Lidar Data", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101238.
- [10]. Janalipour, Milad; Mohammadzadeh, Ali; Valadan Zoeg, Mohammad Javad; & Amirkhani, Said (2015). "Buildings Damage Determination After The Earthquake By Using Anfis Model and Remote Sensing Imagery".
- [11]. Khanbani, Sara; Mohammadzadeh, Ali; & Janalipour Milad (2018). "Global and Local Change Detection Using K-Means Clustering Improved by Particle Swarm Optimization", *Journal of Geomatics Science and Technology* 7, no. 3, pp: 75-88.
- [12]. Kohiyama, Masayuki; & Yamazaki, Fumio (2005). "Damage Detection for 2003 Bam, Iran, Earthquake Using Terra-Aster Satellite Imagery", *Earthquake Spectra* 21, no. S1, pp: 267-274.
- [13]. Li, Qiaoliang, Guoyou Wang; Liu, Jianguo; & Chen, Shaobo (2009). "Robust Scale-Invariant Feature Matching for Remote Sensing Image Registration", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 6, no. 2, pp: 287-291.
- [14]. Pickup, Geoff, & Foran, Barney (1987). "The Use of Spectral and Spatial Variability to Monitor Cover Change on Inert Landscapes", *Remote Sensing of Environment* 23, no. 2, pp: 351-363.
- [15]. Plank, Simon (2014). "Rapid Damage Assessment by Means of Multi-Temporal Sar—a Comprehensive Review and Outlook to Sentinel-1", *Remote Sensing* 6, no. 6, pp: 4870-4906.
- [16]. Richards, John A.; & Xiuping, Jia (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis-Hardback*, Springer, Berlin/Heidelberg.
- [17]. Ruiz, LA; Fdez-Sarría, A.; & Recio Jorge. (2004). "Texture Feature Extraction for Classification of Remote Sensing Data Using Wavelet Decomposition: A Comparative Study", Paper presented at the 20th ISPRS Congress.
- [18]. Seyedain, SA.; Valadan Zoej Mohammad Javad, Maghsoudi, Y. & Janalipour, Milad (2015). "Improving the Classification Accuracy Using Combination of

- Target Detection Algorithms in Hyperspectral Images”, *Journal of Geomatics Science and Technology* 4, no. 4, pp: 161-74.
- [19]. Sharma, Mona; & Singh, Sameer (2001). “Evaluation of Texture Methods for Image Analysis”, Paper presented at the Intelligent Information Systems Conference, The Seventh Australian and New Zealand 2001.
- [20]. Šimić Milas; Prabha Rupasinghe, Anita; Balenović, Ivan; & Grosevski, Pece. (2015). “Assessment of Forest Damage in Croatia Using Landsat-8 Oli Images”, *SEEFOR (South-east European forestry)* 6, no. 2, pp: 159-169.
- [21]. Singh, Ashbindu. "Review Article Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data." *International journal of remote sensing* 10, no. 6 (1989): 989-1003.
- [22]. Tiede, Dirk, Lang, Stefan; Füreder, Petra; Hölbling, Daniel; Hoffmann, Christian; & Zeil, Peter (2011). “Automated Damage Indication for Rapid Geospatial Reporting”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 77, no. 9 (2011), pp: 933-942.
- [23]. Torrione, Peter A; Morton, Kenneth D.; Sakaguchi, Ryan; & Collins, Leslie M. (2014). “Histograms of Oriented Gradients for Landmine Detection in Ground-Penetrating Radar Data”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 52, no. 3, pp: 1539-1550.
- [24]. Triantaphyllou, Evangelos (2000). “Multi-Criteria Decision Making Methods”, In *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Springer, pp: 5-21.
- [25]. Varesi, Atefeh; Mohammadzadeh, Ali; & Janalipour Milad (2017). *Presentation of a Method for Detecting Urban Growth Using Spectral-Spatial Variation Indicators and Remote Sensing Data*.
- [26]. Witmer, Frank DW (2008). “Detecting War-Induced Abandoned Agricultural Land in Northeast Bosnia Using Multispectral, Multitemporal Landsat Tm Imagery”, *International Journal of Remote Sensing* 29, no. 13, pp: 3805-3831.
- [27]. Yang, Chenghai; Everitt, James H.; & Bradford, Joe M.. (2008). “Yield Estimation from Hyperspectral Imagery Using Spectral Angle Mapper (Sam)”, *Transactions of the ASABE* 51, no. 2, pp: 729-737.
- [28]. Yang, Xiajun; & Lo, CP (2000). “Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Satellite Images”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66, no. 8, pp: 967-980.
- [29]. Yusuf, Yalkun; Matsuoka, Masashi; & Yamazaki, Fumio (2001). “Damage Detection from Landsat-7 Satellite Images for the 2001 Gujarat, India Earthquake”, Paper presented at the Proceedings of the 22nd Asian Conference on Remote Sensing.